UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E SANEAMENTO

**INFLUÊNCIA DA PRÉ-OXIDAÇÃO COM OZÔNIO E PERÓXIDO DE
HIDROGÊNIO NA REMOÇÃO DE ATRAZINA EM FILTROS LENTOS DE AREIA
E CARVÃO ATIVADO GRANULAR**

Edumar Ramos Cabral Coelho

Tese apresentada à Escola de Engenharia de
São Carlos da Universidade de São Paulo
como parte dos requisitos para obtenção do
título de doutor em Engenharia Civil, área de
concentração em Hidráulica e Saneamento.

ORIENTADOR: Prof. Tit.Dr. Luiz Di Bernardo

São Carlos
2002

DEDALUS - Acervo - EESC

31100037147

Serviço de Pós-Graduação EESC/USP

EXEMPLAR REVISADO

Data de entrada no Serviço: 19.11.2002

Ass.:

Class.	TESE-EESC
Cutt.	1529
Tombo	1006103
Sysno	1295231

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

C672i Coelho, Edumar Ramos Cabral
Influência da pré-oxidação com ozônio e peróxido de hidrogênio na remoção de atrazina em filtros lentos de areia e carvão ativado granular / Edumar Ramos Cabral Coelho. -- São Carlos, 2002.

Tese (Doutorado) -- Escola de Engenharia de São Carlos-Universidade de São Paulo, 2002.

Área: Hidráulica e Saneamento.

Orientador: Prof. Tit. Luiz Di Bernardo.

1. Filtração lenta. 2. Carvão ativado granular. 3. Atrazina. 4. Ozônio. 5. Peróxido de hidrogênio. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidata: Engenheira **EDUMAR RAMOS CABRAL COELHO**

Tese defendida e julgada em 04-10-2002 perante a Comissão Julgadora:

Prof. Tit. **LUIZ DI BERNARDO (Orientador)**
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

APROVADA

Prof. Dr. **MAURICIO LUIZ SENS**
(Universidade Federal de Santa Catarina/UFSC)

Aprovado

Prof. Dr. **JOSÉ EUCLIDES STIPP PATERNIANI**
(Universidade Estadual de Campinas/UNICAMP)

Aprovado

Profa. Assoc. **MARIA OLÍMPIA DE OLIVEIRA REZENDE**
(Instituto de Química de São Carlos/USP)

aprovada

Prof. Dr. **LUIZ ANTONIO DANIEL**
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

APROVADA

Profa. Associada **MARIA DO CARMO CALIJURI**
Coordenadora do Programa de Pós-Graduação em
Engenharia (Hidráulica e Saneamento) e
Presidente da Comissão de Pós-Graduação

A Deus por mais esta oportunidade em minha vida ao meu marido e companheiro Oriwaldo e as minhas filhas Priscila e Débora pelo amor e compreensão durante esses anos. Aos meus pais Marina e Eduardo (in memória) pelo exemplo de vida. A eles eu dedico este trabalho.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Prof.Dr. Luiz Di Bernardo pela orientação e confiança fornecidas durante a realização do trabalho.

Ao meu esposo Oriwaldo pelo apoio e colaboração sempre presentes durante todo o desenvolvimento da pesquisa.

Aos amigos Hélio e Kátia pelo convívio durante a fase experimental e especialmente ao Edson Tangerino pela colaboração e amizade durante esta fase.

A Prof. Dra. Maria Olímpia de Oliveira Rezende e a Dra. Maria Diva pela disposição e atenção dispensadas no Laboratório de Radioquímica e Química Ambientais.

~~À~~ Ao Prof. Luiz Daniel pelo tempo e atenção dispensados quando solicitado.

Aos colegas do Laboratório de Radioquímica, Juliana, Marcelo, Mirian e especialmente Marinho pelo apoio nas minhas iniciações na cromatografia.

Ao Paulo Fragiácomo, Júlio Trofino e Cidinha pelo apoio no Laboratório de Saneamento.

A Prof. Bete e Janja pela colaboração dispensada.

A Rose pelo atendimento sempre agradável.

Aos responsáveis pelo Serviço Autônomo de Água e Esgotos de São Carlos pela disposição apresentada durante a realização da pesquisa.

A Bahiacarbon pelo material filtrante concedido para a pesquisa.

A Eaglesat pelo fornecimento do destruidor de ozônio.

A Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pela bolsa concedida.

À FAPESP pelo apoio financeiro, processo N° 99/05408-9.

E a todos que por alguns momentos participaram desta etapa de minha vida e me enriqueceram.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	xiii
LISTA DE TABELAS.....	xxiii
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	xxx
RESUMO.....	xxxi
ABSTRACT.....	xxxii
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 OBJETIVOS.....	2
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
3.1 Natureza e origem de micropoluentes.....	3
3.1.1 Atrazina.....	5
3.1.1.1 Degradação da atrazina.....	6
3.1.2 Redução de matéria orgânica natural	8
3.2 Filtração lenta.....	9
3.2.1 Pré-filtração.....	11
3.2 Filtração em carvão ativado granular.....	13
3.3 Oxidação	15
3.3.1 Considerações gerais.....	15
3.3.2 Sistema de ozonização.....	16
3.3.2.1 Medida de ozônio.....	17
3.3.3 Rota de reação do ozônio.....	18
3.3.4 Geração do radical hidroxila.....	19
3.3.5 Oxidação de atrazina e matéria orgânica.....	20
3.3.6 Pré-ozonização e filtração lenta	24
3.3.7 Pré-ozonização e carvão ativado granular.....	26
4 METODOLOGIA.....	30
4.1 Considerações gerais.....	30
4.2 Descrição e funcionamento da instalação piloto.....	34
4.2.1 Sistema de pré-filtração.....	36
4.2.1.1 Operação e manutenção das unidades de pré-filtração.....	37

4.2.2 Operação e manutenção das unidades de filtração lenta.....	37
4.2.3 Sistema de ozonização.....	40
4.2.3.1 Unidade geradora de ozônio.....	40
4.2.3.2 Coluna de ozonização.....	41
4.2.3.3 Medidas de controle do sistema de ozonização.....	42
4.3 Sistema de preparação e adição de produtos químicos.....	44
4.3.1 Sistema de preparação e adição de atrazina.....	44
4.3.2 Preparação do peróxido de hidrogênio.....	44
4.4 Parâmetros de medida.....	45
4.4.1 Metodologia para quantificação de atrazina.....	47
4.4.1.1 Condições cromatográficas.....	48
4.4.1.2 Coleta e tratamento das amostras.....	50
5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	52
5.1 Considerações gerais.....	52
5.2 Pré-tratamento.....	54
5.2.1 Carreira 1.....	54
5.2.1.1 Absorvância.....	54
5.2.1.2 Carbono orgânico Dissolvido Não- Purgável.....	54
5.2.1.3 Cor Verdadeira.....	55
5.2.1.4 Cor Aparente.....	55
5.2.1.5 Oxigênio Consumido.....	56
5.2.1.6 Coliformes Totais.....	56
5.2.1.7 <i>Escherichia coli</i>	57
5.2.1.8 Nitrogênio Amoniacal.....	57
5.2.1.9 Nitrato.....	58
5.2.1.10 Turbidez.....	58
5.2.1.11 Alcalinidade, pH, Oxigênio Dissolvido e Temperatura.....	59
5.2.1.12 Condutividade Elétrica	59
5.2.1.13 Sólidos Suspensos Totais.....	60
5.2.2 Carreira 2.....	61
5.2.2.1 Absorvância.....	61
5.2.2.2 Carbono orgânico Dissolvido Não- Purgável.....	61
5.2.2.3 Cor Verdadeira.....	62
5.2.2.4 Cor Aparente.....	62
5.2.2.5 Oxigênio Consumido.....	63
5.2.2.6 Bactérias Heterotóficas.....	63

5.2.2.7 Coliformes Totais.....	64
5.2.2.8 <i>Escherichia coli</i>	64
5.2.2.9 Nitrogênio Amoniacal.....	65
5.2.2.10 Nitrato.....	65
5.2.2.11 Turbidez.....	66
5.2.2.12 Alcalinidade, pH, Oxigênio Dissolvido e Temperatura.....	66
5.2.2.13 Atrazina.....	67
5.2.3 Carreira 3.....	69
5.2.3.1 Absorvância.....	69
5.2.3.2 Carbono orgânico Dissolvido Não- Purgável.....	69
5.2.3.3 Cor Verdadeira.....	70
5.2.3.4 Cor Aparente.....	70
5.2.3.5 Oxigênio Consumido.....	71
5.2.3.6 Coliformes Totais.....	71
5.2.3.7 <i>Escherichia coli</i>	72
5.2.3.8 Nitrogênio Amoniacal.....	72
5.2.3.9 Nitrato.....	73
5.2.3.10 Turbidez.....	73
5.2.3.11 Condutividade Elétrica.....	74
5.2.3.12 Sólidos Suspensos Totais.....	74
5.2.3.13 Alcalinidade, pH, Oxigênio Dissolvido e Temperatura.....	74
5.2.3.14 Considerações gerais sobre o pré-tratamento.....	75
5.3 Pré-oxidação com ozônio.....	77
5.3.1 Considerações iniciais.....	77
5.3.2 Carreira 4.....	77
5.3.2.1 Absorvância e Oxigênio Consumido.....	77
5.3.2.2 Cor Verdadeira	78
5.3.2.3 Cor Aparente.....	78
5.3.2.4 Coliformes Totais e <i>Escherichia coli</i>	79
5.3.2.5 Nitrogênio aminiactal e Nitrato.....	79
5.3.2.6 pH, Temperatura e Oxigênio Dissolvido.....	79
5.3.2.7 Atrazina.....	80
5.3.2.8 Subprodutos.....	81
5.3.3 Carreira 5.....	83
5.3.3.1 Absorvância.....	83
5.3.3.2 Carbono orgânico Dissolvido Não- Purgável.....	83

5.3.3.3 Cor Verdadeira.....	84
5.3.3.4 Cor Aparente.....	85
5.3.3.5 Oxigênio Consumido.....	86
3.3.3.6 Bactérias Heterotróficas.....	86
5.3.3.7 Coliformes Totais e <i>Escherichia coli</i>	87
5.3.3.8 Nitrogênio Amoniacal e Nitrato.....	87
5.3.3.9 Alcalinidade, pH, Temperatura e Oxigênio Dissolvido.....	88
5.3.3.10 Atrazina.....	88
5.3.3.11 Subprodutos.....	89
5.3.3.12 Considerações sobre a oxidação com ozônio.....	91
5.4 Pré-oxidação com ozônio e peróxido de hidrogênio – Carreira 6	92
5.4.1 Absorvância.....	92
5.4.2 Carbono orgânico Dissolvido Não- Purgável.....	92
5.4.3 Cor Verdadeira.....	93
5.4.4 Cor Aparente.....	93
5.4.5 Oxigênio Consumido.....	93
5.4.6 Bactérias Heterotóxicas.....	94
5.4.7 Coliformes Totais.....	95
5.4.8 <i>Escherichia coli</i>	95
5.4.9 Nitrogênio Amoniacal e Nitrato.....	95
5.4.10 Turbidez.....	95
5.4.11 Sólidos Suspensos Totais e Condutividade Elétrica.....	96
5.4.12 Alcalinidade e pH.....	96
5.4.13 Oxigênio Dissolvido.....	96
5.4.14 Atrazina.....	96
5.4.15 Subprodutos.....	98
5.4.16 Considerações sobre a pré-oxidação com ozônio e peróxido de hidrogênio.....	99
5.5 Filtração Lenta.....	100
5.5.1 Carreira 1.....	101
5.5.1.1 Absorvância.....	101
5.5.1.2 Carbono orgânico Dissolvido Não- Purgável.....	102
5.5.1.3 Cor Verdadeira.....	102
5.5.1.4 Cor Aparente.....	102
5.5.1.5 Oxigênio Consumido.....	103
5.5.1.6 Coliformes Totais.....	104
5.5.1.7 <i>Escherichia coli</i>	105

5.5.1.8 Nitrogênio Amoniacal.....	105
5.5.1.9 Nitrato.....	106
5.5.1.10 Turbidez.....	107
5.5.1.11 Alcalinidade e pH.....	107
5.5.1.12 Oxigênio Dissolvido.....	107
5.5.1.13 Temperatura.....	108
5.5.1.14 Perda de carga	108
5.5.1.15 Sólidos Suspensos Totais.....	109
5.5.1.16 Condutividade Elétrica	109
5.5.2 Carreira 2.....	110
5.5.2.1 Absorvância.....	110
5.5.2.2 Carbono orgânico Dissolvido Não- Purgável.....	111
5.5.2.3 Cor Verdadeira.....	111
5.5.2.4 Cor Aparente.....	111
5.5.2.5 Oxigênio Consumido.....	113
5.5.2.6 Bactérias Heterotróficas.....	113
5.5.2.7 Coliformes Totais.....	114
5.5.2.8 <i>Escherichia coli</i>	115
5.5.2.9 Nitrogênio Amoniacal.....	116
5.5.2.10 Nitrato.....	116
5.5.2.11 Turbidez.....	117
5.5.2.12 Alcalinidade e pH.....	118
5.5.2.13 Oxigênio Dissolvido.....	118
5.5.2.14 Temperatura.....	118
5.5.2.15 Perda de carga	119
5.5.2.16 Sólidos Suspensos Totais.....	119
5.5.2.17 Condutividade elétrica.....	120
5.5.2.18 Atrazina.....	120
5.5.3 Carreira 3.....	122
5.5.3.1 Absorvância.....	122
5.5.3.2 Carbono orgânico Dissolvido Não- Purgável.....	123
5.5.3.3 Cor Verdadeira.....	123
5.5.3.4 Cor Aparente.....	124
5.5.3.5 Oxigênio Consumido.....	125
5.5.3.6 Coliformes Totais.....	126
5.5.3.7 <i>Escherichia coli</i>	126

5.5.3.8 Nitrogênio Amoniacal.....	127
5.5.3.9 Nitrato.....	128
5.5.3.10 Turbidez.....	129
5.5.3.11 Sólidos Suspensos Totais.....	129
5.5.3.12 Condutividade Elétrica.....	130
5.5.3.13 Alcalinidade e pH.....	130
5.5.3.14 Temperatura	130
5.5.3.15 Oxigênio Dissolvido.....	130
5.5.3.16 Perda de Carga e Taxa de Aplicação Superficial.....	131
5.5.3.17 Atrazina.....	131
5.5.3.18 Subprodutos.....	132
5.5.3.18.1 Atrazina desetil.....	132
5.5.3.18.2 Atrazina desisopropil.....	133
5.5.3.18.3 Atrazina desetil-2-hidroxi.....	134
5.5.3.19 Considerações gerais sobre o processo de filtração lenta precedida de pré-filtração..	136
5.6 Filtração Lenta precedida da pré-oxidação com ozônio.....	138
5.6.1 Carreira 4.....	138
5.6.1.1 Absorvância.....	138
5.6.1.2 Cor Verdadeira.....	138
5.6.1.3 Cor Aparente.....	139
5.6.1.4 Oxigênio Consumido.....	140
5.6.1.5 Coliformes Totais.....	141
5.6.1.6 <i>Escherichia coli</i>	141
5.6.1.7 Nitrogênio Amoniacal e Nitrato.....	142
5.6.1.8 Turbidez.....	142
5.6.1.9 Alcalinidade, pH, Temperatura e Oxigênio Dissolvido.....	142
5.6.1.10 Perda de Carga.....	143
5.6.1.11 Atrazina.....	144
5.6.1.12 Subprodutos.....	145
5.6.1.12.1 Atrazina desetil.....	145
5.6.1.12.2 Atrazina desisopropil.....	145
5.6.1.12.3 Atrazina desetil-2-hidroxi.....	146
5.6.2 Carreira 5.....	148
5.6.2.1 Absorvância.....	148
5.6.2.2 Carbono Orgânico Dissolvido Não-Purgável.....	149
5.6.2.3 Cor Verdadeira.....	150

5.6.2.4 Cor Aparente.....	151
5.6.2.5 Oxigênio Consumido.....	152
5.6.2.6 Bactérias Heterotróficas.....	153
5.6.2.7 Coliformes Totais.....	154
5.6.2.8 <i>Escherichia coli</i>	154
5.6.2.9 Nitrogênio Amoniacal e Nitrato.....	155
5.6.2.10 Fosfato.....	156
5.6.2.11 Turbidez.....	157
5.6.2.12 Sólidos Suspensos Totais.....	158
5.6.2.13 Condutividade Elétrica.....	159
5.6.2.14 Alcalinidade, pH, Temperatura e Oxigênio Dissolvido.....	160
5.6.2.15 Perda de Carga.....	161
5.6.2.16 Atrazina.....	161
5.6.2.17 Subprodutos.....	163
5.6.2.17.1 Atrazina desetil.....	163
5.6.2.17.2 Atrazina desisopropil.....	164
5.6.2.17.3 Atrazina desetil-2-hidroxi.....	165
5.6.2.18 Considerações gerais sobre a Filtração Lenta precedida da pré-ozonização	169
5.7 Filtração Lenta precedida da pré-oxidação com ozônio e peróxido de hidrogênio	171
5.7.1 Absorvância.....	171
5.7.2 Carbono Orgânico Dissolvido Não-Purgável	172
5.7.3 Cor Verdadeira.....	173
5.7.4 Cor Aparente.....	174
5.7.5 Oxigênio Consumido.....	175
5.7.6 Bactérias Heterotróficas.....	176
5.7.7 Coliformes Totais.....	177
5.7.8 <i>Escherichia coli</i>	177
5.7.9 Nitrogênio Amoniacal e Nitrato.....	177
5.7.10 Turbidez.....	178
5.7.11 Sólidos Suspensos Totais e Condutividade Elétrica.....	179
5.6.2.12 Alcalinidade, pH, Temperatura e Oxigênio Dissolvido.....	179
5.6.2.13 Perda de Carga.....	179
5.6.2.14 Atrazina.....	180
5.6.2.15 Subprodutos.....	182
5.6.2.15.1 Atrazina desetil.....	182
5.6.2.15.2 Atrazina desisopropil.....	183

5.6.2.15.3 Atrazina desetil-2-hidroxi.....	183
5.6.2.18 Considerações gerais sobre a Filtração Lenta precedida da pré-oxidação com ozônio e peróxido de hidrogênio.....	186
6 CONCLUSÕES.....	188
7 RECOMENDAÇÕES.....	190
8 ANEXOS	191
ANEXO A	1191
ANEXO B	199
ANEXO C.....	210
ANEXO D.....	214
ANEXO E.....	218
ANEXO F.....	230
9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	243

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 3.1 Estrutura molecular, nome comum, nome químico e fórmula química	6
FIGURA 3.2 Vias de degradação de atrazina por microrganismos	8
FIGURA 4.1 Fluxograma dos ensaios	30
FIGURA 4.2 Adutora e reservatório de água bruta	30
FIGURA 4.3 Esquema vertical da Instalação Piloto	31
FIGURA 4.4 Vista superior do pré-filtro dinâmico (PFD), do pré-filtro vertical ascendente (PFVA) do filtro lento de areia (FLA), do filtro lento de areia e camada de carvão ativado (FLA-CAG, FLA-CAG2)	32
FIGURA 4.5 Detalhe do pré- filtro dinâmico e do pré-filtro vertical ascendente	33
FIGURA 4.6 Detalhe do filtro lento de areia e do filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular	36
FIGURA 4.7 Vista do filtro lento de areia (FLA), filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA), piezômetros dos filtros lentos, da caixa de distribuição de água aos filtros lentos (caixa 3) e da canaleta de coleta de água da instalação piloto	36
FIGURA 4.8 Vista do interior do ozonizador da Eaglesat	37
FIGURA 4.9 Vista da base da coluna de ozonização e do difusor poroso	38
FIGURA 4.10 Esquema vertical do sistema de ozonização	39
FIGURA 4.11 Vista do medidor de ozônio UV, do medidor de ozônio residual e do rotâmetro	40
FIGURA 4.12 Vista do medidor de ozônio residual (sonda) - Prominent.	41
FIGURA 4.13 Vista parcial interna do Laboratório da Instalação Piloto	43
FIGURA 4.14 Fluxograma do tratamento das amostras para quantificação da atrazina	48
FIGURA 5.1 Valores de absorvância para a água bruta (AB), efluente do pré-filtro dinâmico (PFD) e do pré-filtro vertical ascendente (PFVA) - Carreira 1	54
FIGURA 5.2 Valores de Carbono Orgânico Dissolvido Não-Purgável para a água bruta (AB), efluente do pré-filtro dinâmico (PFD) e do pré-filtro vertical ascendente (PFVA) - Carreira 1	55
FIGURA 5.3 Valores de Cor Verdadeira (uH) para a água bruta, efluente do pré-filtro dinâmico (PFD) e do pré-filtro vertical ascendente (PFVA)- Carreira 1	55
FIGURA 5.4 Valores de Cor Aparente (uH) para a água bruta, efluente do pré-filtro dinâmico (PFD) e o pré-filtro vertical ascendente (PFVA) - Carreira 1	56
FIGURA 5.5 Valores de Oxigênio Consumido (mg/L) para a água bruta, efluente do pré-filtro dinâmico (PFD) e do pré-filtro vertical ascendente (PFVA) – Carreira 1	56

FIGURA 5.6 Valores de Coliformes Totais (NMP/100mL) para a água bruta, efluente do pré-filtro dinâmico (PFD) e do pré-filtro vertical ascendente (PFVA) - Carreira 1	57
FIGURA 5.7 Valores de <i>Escherichia coli</i> (NMP/100mL) para a água bruta, efluente do pré-filtro dinâmico (PFD) e do pré-filtro vertical ascendente (PFVA) - Carreira 1	57
FIGURA 5.8 Valores de Nitrogênio Amoniacal (mg/L) para a água bruta, efluente do pré-filtro dinâmico (PFD) , do pré-filtro vertical ascendente (PFVA) - Carreira 1	58
FIGURA 5.9 Valores de Nitrato (mg/L) para a água bruta, efluente do pré-filtro dinâmico (PFD) , do pré-filtro vertical ascendente (PFVA) - Carreira 1	58
FIGURA 5.10 Valores de Turbidez (uT) para a água bruta, efluente do pré-filtro dinâmico (PFD) , do pré-filtro vertical ascendente (PFVA) - Carreira 1	59
FIGURA 5.11 Valores de Sólidos Suspensos Totais (mg/L) para água bruta (AB), efluente do pré-filtro dinâmico (PFD) e do pré-filtro vertical ascendente (PFVA) – Carreira 1	60
FIGURA 5.12 Valores de Absorvância (cm ⁻¹) para a água bruta (AB), para efluente do pré-filtro dinâmico (PFD) e do pré-filtro vertical ascendente (PFVA) - Carreira 2	61
FIGURA 5.13 Valores de Carbono Orgânico Dissolvido Não-Purgável (mg/L) para a água bruta (AB), para efluente do pré-filtro dinâmico (PFD) e do pré-filtro vertical ascendente (PFVA) - Carreira 2	62
FIGURA 5.14 Valores de Cor Verdadeira (uH) para a água bruta, para efluente do pré-filtro dinâmico (PFD), do pré-filtro vertical ascendente (PFVA) - Carreira 2	62
FIGURA 5.15 Valores de Cor Aparente (uH) para a água bruta, para efluente do pré-filtro dinâmico (PFD) e do pré-filtro vertical ascendente (PFVA) - Carreira 2	63
FIGURA 5.16 Valores de Oxigênio Consumido (mg/L) para a água bruta, para efluente do pré-filtro dinâmico (PFD) e do pré-filtro vertical ascendente (PFVA) - Carreira 2	63
FIGURA 5.17 Valores de Bactérias Heterotróficas (UFC/100 mL) para água bruta, para efluente do pré-filtro dinâmico (PFD) e do pré-filtro vertical ascendente (PFVA) - Carreira 2	64
FIGURA 5.18 Valores de Coliformes Totais (NMP/100mL) para a água bruta, para efluente do pré-filtro dinâmico (PFD) e do pré-filtro vertical ascendente (PFVA) - Carreira 2	65
FIGURA 5.19 Valores de <i>Escherichia coli</i> (NMP/100mL) para a água bruta, para efluente do pré-filtro dinâmico (PFD) e do pré-filtro vertical ascendente (PFVA) - Carreira 2	65
FIGURA 5.20 Valores de Nitrogênio Amoniacal (mg/L) para a água bruta, para efluente do pré-filtro dinâmico (PFD) e do pré-filtro vertical ascendente (PFVA) - Carreira 2	66
FIGURA 5.21 Valores de Nitrato (mg/L) para a água bruta, para efluente do pré-filtro dinâmico (PFD) e do pré-filtro vertical ascendente (PFVA) - Carreira 2	66
FIGURA 5.22 Valores de Turbidez (uT) para a água bruta, para efluente do pré-filtro dinâmico (PFD) e do pré-filtro vertical ascendente (PFVA) - Carreira 2	67
FIGURA 5.23 Valores Atrazina (µg/L) para o afluente e efluente do pré-filtro vertical ascendente (PFVA) – Carreira 2	68
FIGURA 5.24 Valores de Absorvância (cm ⁻¹) para água bruta (AB), efluente do pré-filtro dinâmico (PFD) e do pré-filtro vertical ascendente (PFVA) – Carreira 2	69
FIGURA 5.25 Valores de Carbono Orgânico Dissolvido Não-Purgável (mg/L) para água bruta (AB), efluente do pré-filtro dinâmico (PFD) e do pré-filtro vertical ascendente (PFVA) – Carreira 3	70
FIGURA 5.26 Valores de Cor Verdadeira (uH) para água bruta (AB), efluente do pré-filtro dinâmico (PFD) e do pré-filtro vertical ascendente (PFVA) – Carreira 3	70

FIGURA 5.27 Valores de Cor Aparente (uH) para água bruta (AB), efluente do pré-filtro dinâmico (PFD) e do pré-filtro vertical ascendente (PFVA) – Carreira 3	71
FIGURA 5.28 Valores de Oxigênio Consumido (mg/L) para água bruta (AB), efluente do pré-filtro dinâmico (PFD) e do pré-filtro vertical ascendente (PFVA) – Carreira 3	71
FIGURA 5.29 Valores de Coliformes Totais (NMP/100mL) para água bruta (AB), efluente do pré-filtro dinâmico (PFD) e do pré-filtro vertical ascendente (PFVA) – Carreira 3	72
FIGURA 5.30 Valores de <i>Escherichia coli</i> (NMP/100mL) para água bruta (AB), efluente do pré-filtro dinâmico (PFD) e do pré-filtro vertical ascendente (PFVA) – Carreira 3	72
FIGURA 5.31 Valores de Nitrogênio Amoniacal (mg/L) para água bruta (AB), efluente do pré-filtro dinâmico (PFD) e do pré-filtro vertical ascendente (PFVA) – Carreira 3	72
FIGURA 5.32 Valores de Nitrato (mg/L) para água bruta (AB), efluente do pré-filtro dinâmico (PFD) e do pré-filtro vertical ascendente (PFVA) – Carreira 3	73
FIGURA 5.33 Valores de Turbidez (uT) para água bruta (AB), efluente do pré-filtro dinâmico (PFD) e do pré-filtro vertical ascendente (PFVA) – Carreira 3	73
FIGURA 5.34 Valores de Sólidos Suspensos Totais (mg/L) para água bruta (AB), efluente do pré-filtro dinâmico (PFD) e do pré-filtro vertical ascendente (PFVA) – Carreira 3	74
FIGURA 5.35 Valores de absorvância (cm^{-1}) para efluente da pré-filtração (montante da coluna - MC) e para efluente ozonizado (jusante da coluna - JC) - Carreira 4	77
FIGURA 5.36 Valores de Oxigênio Consumido (mg/L) para efluente da pré-filtração (montante da coluna - MC) e para efluente ozonizado (jusante da coluna - JC) - Carreira 4	77
FIGURA 5.37 Valores de Cor Verdadeira (uH) para efluente da pré-filtração (montante da coluna - MC) e para efluente ozonizado (jusante da coluna - JC) - Carreira 4	78
FIGURA 5.38 Valores de Cor Aparente (uH) para efluente da pré-filtração (montante da coluna - MC) e para efluente ozonizado (jusante da coluna - JC) - Carreira 4	78
FIGURA 5.39 Valores Atrazina ($\mu\text{g/L}$) para o montante da coluna de ozonização (MC) para efluente da coluna de ozonização (JC) – Carreira 4	80
FIGURA 5.40 Valores Atrazina desetil ($\mu\text{g/L}$) para o montante da coluna de ozonização (MC) para efluente da coluna de ozonização (JC) – Carreira 4	81
FIGURA 5.41 Valores Atrazina desisopropil ($\mu\text{g/L}$) para o montante da coluna de ozonização (MC) para efluente da coluna de ozonização (JC) – Carreira 4	82
FIGURA 5.42 Valores Atrazina desetil-2-hidroxi ($\mu\text{g/L}$) para o montante da coluna de ozonização (MC) para efluente da coluna de ozonização (JC) – Carreira 4	82
FIGURA 5.43 Valores de absorvância para efluente do pré-tratamento (MC), efluente da pré-oxidação (JC) e dose de ozônio consumida (mg/L) - Carreira 5	83
FIGURA 5.44 Valores de Carbono Orgânico Dissolvido Não-Purgável para efluente do pré-tratamento (MC), efluente da pré-oxidação (JC) e dose de ozônio consumida (mg/L) - Carreira 5	84
FIGURA 5.45 Valores de Cor Verdadeira (uH) para efluente do pré-tratamento (MC), efluente da pré-oxidação (JC) e dose de ozônio consumida (mg/L) - Carreira 5	84
FIGURA 5.46 Valores de Cor Aparente (uH) para efluente do pré-tratamento (MC), efluente da pré-oxidação (JC) e dose de ozônio consumida (mg/L) - Carreira 5	85
FIGURA 5.47 Valores de Oxigênio Consumido (mg/L) para efluente do pré-tratamento (MC), efluente da pré-oxidação (JC) e dose de ozônio consumida (mg/L) - Carreira 5	86
FIGURA 5.48 Valores de Bactérias Heterotróficas (UFC/100 mL) para efluente do pré-tratamento (MC), efluente da pré-oxidação (JC) e dose de ozônio consumida (mg/L) - Carreira 5	86

FIGURA 5.49 Valores Atrazina ($\mu\text{g/L}$) para efluente do pré-tratamento (MC), efluente da pré-oxidação (JC) em função da variação da dose de ozônio consumida (mg/L) - Carreira 5	89
FIGURA 5.50 Valores Atrazina desetil ($\mu\text{g/L}$) para efluente do pré-tratamento (MC), efluente da pré-oxidação (JC) em função da variação da dose de ozônio consumida (mg/L) - Carreira 5	90
FIGURA 5.51 Valores Atrazina desisopropil ($\mu\text{g/L}$) para efluente do pré-tratamento (MC), efluente da pré-oxidação (JC) em função da variação da dose de ozônio consumida (mg/L) - Carreira 5	90
FIGURA 5.52 Valores Atrazina desetil-2-hidroxi ($\mu\text{g/L}$) para efluente do pré-tratamento (MC), efluente da pré-oxidação (JC) em função da variação da dose de ozônio consumida (mg/L) - Carreira 5	90
FIGURA 5.53 Valores de absorvância (cm^{-1}) afluentes à coluna (MC) e efluente da pré-oxidação (JC) - Carreira 6	92
FIGURA 5.54 Valores de Carbono Orgânico Dissolvido Não-Purgável (mg/L) afluentes à coluna (PFVA) e efluente da pré-oxidação (JC) - Carreira 6	93
FIGURA 5.55 Valores de Cor Verdadeira (uH) afluentes à coluna (PFVA) e efluente da pré-oxidação (JC) - Carreira 6	93
FIGURA 5.56 Valores de Cor Aparente (uH) afluentes à coluna (PFVA) e efluente da pré-oxidação (JC) - Carreira 6	94
FIGURA 5.57 Valores de Oxigênio Consumido (mg/L) afluentes à coluna (PFVA) e efluente da pré-oxidação (JC) - Carreira 6	94
FIGURA 5.58 Valores de Bactérias Heterotróficas ($\text{UFC}/100 \text{ mL}$) afluentes à coluna (PFVA) e efluente da pré-oxidação (JC) - Carreira 6	95
FIGURA 5.59 Valores de Nitrato (mg/L) afluentes à coluna (MC) e efluente da pré-oxidação (JC) - Carreira 6	96
FIGURA 5.60 Valores Atrazina ($\mu\text{g/L}$) afluentes à coluna (MC) e efluente da pré-oxidação (JC) - Carreira 6	97
FIGURA 5.61 Valores Atrazina ($\mu\text{g/L}$) afluentes à coluna (PFVA) e efluente da pré-oxidação (JC) - Carreira 6	97
FIGURA 5.62 Valores de Atrazina desetil ($\mu\text{g/L}$) afluentes à coluna (PFVA) e efluente da pré-oxidação (JC) - Carreira 6	98
FIGURA 5.63 Valores de Atrazina desisopropil ($\mu\text{g/L}$) afluentes à coluna (PFVA) e efluente da pré-oxidação (JC) - Carreira 6	98
FIGURA 5.64 Valores de Atrazina desetil-2-hidroxi ($\mu\text{g/L}$) afluentes à coluna (PFVA) e efluente da pré-oxidação (JC) - Carreira 6	99
FIGURA 5.65 Valores de absorvância para afluentes aos filtros (efluente do PFVA) e de C/Co para o efluente do filtro lento de areia (FLA) e do filtro de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG) - Carreira 1	101
FIGURA 5.66 Valores de Carbono Orgânico Dissolvido Não-Purgável (CODNP) para efluente do pré-tratamento (PFVA) e de C/Co para efluente do filtro lento de areia (FLA) e do filtro de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG) - Carreira 1	102
FIGURA 5.67 Valores de Cor Verdadeira (uH) para afluentes aos filtros lentos (PFVA) e de C/Co para efluente do filtro lento de areia (FLA) e do filtro de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG) - Carreira 1	103
FIGURA 5.68 Valores de Cor Aparente (uH) para afluentes aos filtros lentos (PFVA) e de C/Co para efluente do filtro lento de areia (FLA) e do filtro de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG) - Carreira 1	103

FIGURA 5.69 Valores de Oxigênio Consumido (mg/L) para afluente aos filtros lentos (PFVA) e de C/Co para efluente do filtro lento de areia (FLA) e do filtro de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG) - Carreira 1	104
FIGURA 5.70 Valores de Coliformes Totais (NMP/100mL) para afluente aos filtros lentos (PFVA) e C/Co para efluente do filtro lento de areia (FLA) e do filtro de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG) - Carreira 1	104
FIGURA 5.71 Valores de <i>Escherichia coli</i> (NMP/100mL) para afluente aos filtros lentos (PFVA) e de C/Co para efluente do filtro lento de areia (FLA) e do filtro de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG) - Carreira 1	105
FIGURA 5.72 Valores de Nitrogênio Amoniacal (mg/L) para afluente aos filtros lentos (PFVA) e de C/Co para efluente do filtro lento de areia (FLA) e do filtro de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG) - Carreira 1	106
FIGURA 5.73 Valores de Nitrato (mg/L) para afluente aos filtros lentos (PFVA) e de C/Co para efluente do filtro lento de areia (FLA) e do filtro de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG) - Carreira 1	106
FIGURA 5.74 Valores de Turbidez (uT) para afluente aos filtros lentos (PFVA) e de C/Co para efluente do filtro lento de areia (FLA) e do filtro de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG) - Carreira 1	107
FIGURA 5.75 Valores Perda de Carga (cm) para o filtro de areia (FLA) e filtro de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG) - Carreira 1	109
FIGURA 5.76 Valores de Sólidos Suspensos Totais (mg/L) para afluente as unidades de filtração lenta (PFVA) efluente do filtro de areia (FLA) e do filtro de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG) - Carreira 1	109
FIGURA 5.77 Valores de absorvância para efluente do pré-filtro vertical ascendente (PFVA) e de C/Co para efluente do filtro lento de areia (FLA) e do filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG) - Carreira 2	110
FIGURA 5.78 Valores de Carbono Orgânico Dissolvido Não-Purgável (mg/L) para efluente do pré-filtro vertical ascendente (PFVA) e de C/Co para efluente do filtro lento de areia (FLA) e do filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG) - Carreira 2	111
FIGURA 5.79 Valores de Cor Verdadeira (uH) para efluente do pré-filtro vertical ascendente (PFVA) e de C/Co para efluente do filtro lento de areia (FLA) e do filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG) - Carreira 2	112
FIGURA 5.80 Valores de Cor Aparente (uH) para efluente do pré-filtro vertical ascendente (PFVA) e de C/Co para efluente do filtro lento de areia (FLA) e do filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG) - Carreira 2	112
FIGURA 5.81 Valores de Oxigênio Consumido (mg/L) para efluente do pré-filtro vertical ascendente (PFVA) e de C/Co para efluente do filtro lento de areia (FLA) e do filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG) - Carreira 2	113
FIGURA 5.82 Valores de Bactérias Heterotróficas (UFC/100 mL) para efluente do pré-filtro vertical ascendente (PFVA) e de C/Co para efluente do filtro lento de areia (FLA) e do filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG) - Carreira 2	114
FIGURA 5.83 Valores de Coliformes Totais (NMP/100mL) para efluente do pré-filtro vertical ascendente (PFVA) e de C/Co para efluente do filtro lento de areia (FLA) e do filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG) - Carreira 2	115
FIGURA 5.84 Valores de Nitrogênio Amoniacal (mg/L) para efluente do pré-filtro vertical ascendente (PFVA) e de C/Co para efluente do filtro lento de areia (FLA) e do filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG) - Carreira 2	116

FIGURA 5.85 Valores de Nitrato (mg/L) para efluente do pré-filtro vertical ascendente (PFVA) e de C/Co para efluente do filtro lento de areia (FLA) e do filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG) - Carreira 2	117
FIGURA 5.86 Valores de Turbidez (uT) para efluente do pré-filtro vertical ascendente (PFVA) e de C/Co para efluente do filtro lento de areia (FLA) e do filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG) - Carreira 2	117
FIGURA 5.87 Valores Perda de Carga (cm) para as unidades de filtração lenta - Carreira 2	119
FIGURA 5.88 Valores de Sólidos Suspensos Totais (mg/L) para afluente as unidades de filtração lenta (PFVA), efluente do filtro de areia (FLA) do filtro de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG) - Carreira 2	120
FIGURA 5.89 Valores Atrazina ($\mu\text{g/L}$) para o efluente do pré-filtro vertical ascendente (PFVA) e do filtro de areia (FLA) e do filtro de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG) - Carreira 2	121
FIGURA 5.90 Valores de Absorvância (cm^{-1}) para afluente as unidades de filtração lenta (PFVA) e de C/Co efluente do filtro de areia (FLA) e do filtro de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG) - Carreira 3	122
FIGURA 5.91 Valores de Carbono Orgânico Dissolvido Não-Purgável para afluente as unidades de filtração lenta (PFVA) e de C/Co efluente do filtro de areia (FLA) e do filtro de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG) - Carreira 3	123
FIGURA 5.92 Valores de Cor Verdadeira para afluente as unidades de filtração lenta (PFVA) e de C/Co efluente do filtro de areia (FLA) e do filtro de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG) - Carreira 3	124
FIGURA 5.93 Valores de Cor Aparente para afluente as unidades de filtração lenta (PFVA) e de C/Co efluente do filtro de areia (FLA) e do filtro de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG) - Carreira 3	125
FIGURA 5.94 Valores de Oxigênio Consumido para afluente as unidades de filtração lenta (PFVA) e de C/Co efluente do filtro de areia (FLA) e do filtro de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG) - Carreira 3	125
FIGURA 5.95 Valores de Coliformes Totais para afluente as unidades de filtração lenta (PFVA) e de C/Co efluente do filtro de areia (FLA) e do filtro de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG) - Carreira 3	126
FIGURA 5.96 Valores de Escherichia coli para afluente as unidades de filtração lenta (PFVA) e de C/Co efluente do filtro de areia (FLA) e do filtro de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG) - Carreira 3	127
FIGURA 5.97 Valores de Nitrogênio Amoniacal para afluente as unidades de filtração lenta (PFVA) e de C/Co efluente do filtro de areia (FLA) e do filtro de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG) - Carreira 3	128
FIGURA 5.98 Valores de Nitrato para afluente as unidades de filtração lenta (PFVA) e de C/Co efluente do filtro de areia (FLA) e do filtro de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG) - Carreira 3	128
FIGURA 5.99 Valores de Turbidez (uT) para afluente as unidades de filtração lenta (PFVA), efluente do filtro de areia (FLA) e do filtro de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG) - Carreira 3	129
FIGURA 5.100 Valores de Sólidos Suspensos Totais (mg/L) para afluente as unidades de filtração lenta (PFVA) efluente do filtro de areia (FLA) e do filtro de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG) - Carreira 3	119

FIGURA 5.101 Valores Perda de Carga (cm) e de Taxa de Aplicação Superficial para as unidades de filtração lenta (FLA e FLA-CAG) - Carreira 3	131
FIGURA 5.102 Valores Atrazina ($\mu\text{g/L}$) para afluente às unidades de filtração lenta (MC), efluente do filtro de areia (FLA) e do filtro de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG) – Carreira 3	132
FIGURA 5.103 Valores Atrazina desetil ($\mu\text{g/L}$) para afluente as unidades de filtração lenta (MC), efluente do filtro de areia (FLA) e do filtro de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG) – Carreira 3	133
FIGURA 5.104 Valores Atrazina desisopropil ($\mu\text{g/L}$) para afluente as unidades de filtração lenta (MC), efluente do filtro de areia (FLA) e do filtro de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG) – Carreira 3	134
FIGURA 5.105 Valores Atrazina desetil-2-hidroxi ($\mu\text{g/L}$) para afluente as unidades de filtração lenta (MC), efluente do filtro de areia (FLA) e do filtro de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG) – Carreira 3	135
FIGURA 5.106 Valores de absorvância (cm^{-1}) para efluente da pré-filtração (PFVA), de C/Co para efluente da coluna de ozonização (JC), do filtro de areia (FLA) e do filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG) - Carreira 4	138
FIGURA 5.107 Valores de Cor Verdadeira (uH) para efluente da pré-filtração (PFVA), de C/Co para efluente da coluna de ozonização (JC), do filtro de areia (FLA) e do filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG) - Carreira 4	139
FIGURA 5.108 Valores de Cor Aparente (uH) para efluente da pré-filtração (PFVA), de C/Co para efluente da coluna de ozonização (JC), do filtro de areia (FLA) e do filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG) - Carreira 4	140
FIGURA 5.109 Valores de Oxigênio Consumido (mg/L) para efluente da pré-ozonização(JC), do filtro lento de areia (FLA) e do filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG) - Carreira 4	141
FIGURA 5.110 Valores de Turbidez (uT) para a água bruta, efluente do pré-filtro vertical ascendente (PFVA), do filtro lento de areia (FLA) e do filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG) - Carreira 4	142
FIGURA 6.11 Valores Perda de Carga (cm), de Taxa de Aplicação Superficial e de Dose de ozônio consumida para as unidades de filtração lenta - Carreira 4	143
FIGURA 5.112 Valores Atrazina ($\mu\text{g/L}$) para o efluente da ozonização (JC), do filtro lento de areia (FLA) e do filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG) – Carreira 4	144
FIGURA 5.113 Valores de Atrazina desetil ($\mu\text{g/L}$) para o efluente da ozonização (JC), do filtro lento de areia (FLA) e do filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG) – Carreira 4	145
FIGURA 5.114 Valores Atrazina ($\mu\text{g/L}$) para o efluente da ozonização (JC), do filtro lento de areia (FLA) e do filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG) – Carreira 4	146
FIGURA 5.115 Valores Atrazina ($\mu\text{g/L}$) para o efluente da ozonização (JC), do filtro lento de areia (FLA) e do filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG) – Carreira 4	147

FIGURA 5.116 Valores de absorvância (cm^{-1}) para a efluente da pré-filtração (PFVA), e de C/Co para efluente da pré-oxidação (JC), do filtro lento de areia (FLA) do filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG), e do filtro lento de areia como camada intermediária de carvão ativado granular nova (FLA-CAG2) - Carreira 5	149
FIGURA 5.117 Valores de Carbono Orgânico Dissolvido Não-Purgável para a efluente da pré-filtração (PFVA), e de C/Co para efluente da pré-oxidação (JC), do filtro lento de areia (FLA) do filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG), e filtro lento de areia como camada intermediária de carvão ativado granular nova (FLA-CAG2) - Carreira 5	150
FIGURA 5.118 Valores de Cor Verdadeira (uH) para os efluentes do pré-filtro vertical ascendente (PFVA), das unidades de filtração lenta (FLA, FLA-CAG, FLA-CAG2) e da coluna de ozonização (JC) - Carreira 5	151
FIGURA 5.119 Valores de Cor Aparente (uH) para a efluente da pré-filtração (PFVA), e de C/Co para efluente da pré-oxidação (JC), do filtro lento de areia (FLA) do filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG), e filtro lento de areia como camada intermediária de carvão ativado granular nova (FLA-CAG2) - Carreira 5	152
FIGURA 5.121 Valores de Oxigênio Consumido (mg/L) para a efluente da pré-filtração (PFVA), e de C/Co para efluente da pré-oxidação (JC), do filtro lento de areia (FLA) do filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG), e filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular nova (FLA-CAG2) - Carreira 5	153
FIGURA 5.122 Valores de Nitrogênio Amoniacal (mg/L) para a efluente da pré-filtração (PFVA), e de C/Co para efluente da pré-oxidação (JC), do filtro lento de areia (FLA) do filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG), e filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular nova (FLA-CAG2) - Carreira 5	156
FIGURA 5.123 Valores de Nitrato (mg/L) para a efluente da pré-filtração (PFVA), e de C/Co para efluente da pré-oxidação (JC), do filtro lento de areia (FLA) do filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG), e filtro lento de areia como camada intermediária de carvão ativado granular nova (FLA-CAG2) - Carreira 5	156
FIGURA 5.124 Valores de Fosfato (mg/L) para a água bruta, efluente da pré-oxidação (JC), e da filtração lenta (FLA, FLA-CAG e FLA-CAG2) - Carreira 5	157
FIGURA 5.125 Valores de Turbidez (C/Co) para efluente da pré-oxidação (JC), do filtro lento de areia (FLA) do filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG), e filtro lento de areia como camada intermediária de carvão ativado granular nova (FLA-CAG2) - Carreira 5	158
FIGURA 5.126 Valores de Sólidos Suspensos Totais (C/Co) para efluente da pré-oxidação (JC), do filtro lento de areia (FLA) do filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG), e filtro lento de areia como camada intermediária de carvão ativado granular nova (FLA-CAG2) - Carreira 5	159
FIGURA 5.127 Valores Perda de Carga (cm) e de Taxa de Aplicação Superficial para as unidades de filtração lenta - Carreira 5	161
FIGURA 5.128 Valores Atrazina ($\mu\text{g/L}$) para o pré-filtro vertical ascendente (PFVA), efluente da pré-oxidação (JC), do filtro lento de areia (FLA) e dos filtros lentos de areia com camada intermediária de carvão ativado granular 9FLA-CAG e FLA-(CAG2) - Carreira 5	163
FIGURA 5.129 Valores para Atrazina desetil ($\mu\text{g/L}$) para o efluente da pré-oxidação (JC), do filtro lento de areia (FLA) e dos filtros lentos de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG e FLA-CAG2) - Carreira 5	164

FIGURA 5.130 Valores Atrazina desisopropil ($\mu\text{g/L}$) para o efluente da pré-oxidação (JC), do filtro lento de areia (FLA) e dos filtros lentos de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG e FLA-CAG2) – Carreira 5	165
FIGURA 5.131 Valores para Atrazina desetil-2-hidroxi ($\mu\text{g/L}$) para o efluente ozonizado (JC), o efluente do filtro lento de areia (FLA) e dos filtros lentos com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG e FLA-CAQG2) – Carreira 5	166
FIGURA 5.132 Cromatograma (HPLC-UV) do afluente à coluna de ozonização (MC) Os números representam o metabólito Atrazina desetil (3) e a atrazina (4). Condições experimentais descritas no item 4.4.1.	168
FIGURA 5.133 Cromatograma (HPLC-UV) do efluente (JC) à coluna de ozonização. Os números representam o metabólito Atrazina desetil (3) e a atrazina (4). Condições experimentais descritas no item 4.4.1.	168
FIGURA 5.134 Cromatograma (HPLC-UV) do efluente do filtro lento de areia (FLA) à coluna de ozonização. Os números representam o metabólito Atrazina desetil (3) e a atrazina (4). Condições experimentais descritas no item 4.4.1.	168
FIGURA 5.135 Cromatograma (HPLC-UV) do efluente do filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG) à coluna de ozonização. Os números representam o metabólito Atrazina desetil (3) e a atrazina (4). Condições experimentais descritas no item 4.4.1.]	169
FIGURA 5.136 Cromatograma (HPLC-UV) do efluente do filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular novo (FLA-CAG-2) à coluna de ozonização. Os números representam o metabólito Atrazina desetil (3) e a atrazina (4)	169
FIGURA 5.137 Valores de absorvância - C/Co para efluente da pré-oxidação (JC) e efluente das unidades de filtração lenta (FLA e FLA-CAG) e da relação $\text{H}_2\text{O}_2/\text{O}_3$ - Carreira 6	172
FIGURA 5.138 Valores de Carbono Orgânico Dissolvido Não-Purgável - C/Co para efluente da pré-oxidação (JC), para efluentes das unidades de filtração lenta (FLA e FLA-CAG) e para relação $\text{H}_2\text{O}_2/\text{O}_3$ - Carreira 6	174
FIGURA 5.139 Valores de Cor - C/Co para efluente da pré-oxidação (JC), para efluentes das unidades de filtração lenta (FLA e FLA-CAG) e para relação $\text{H}_2\text{O}_2/\text{O}_3$ - Carreira 6	174
FIGURA 5.140 Valores de Cor Aparente - C/Co para efluente da pré-oxidação (JC), para efluentes das unidades de filtração lenta (FLA e FLA-CAG) e para relação $\text{H}_2\text{O}_2/\text{O}_3$ - Carreira 6	176
FIGURA 5.141 Valores de Oxigênio Consumido - C/Co para efluente da pré-oxidação (JC), para efluentes das unidades de filtração lenta (FLA e FLA-CAG) e para relação $\text{H}_2\text{O}_2/\text{O}_3$ - Carreira 6	176
FIGURA 5.142 Valores de Bactérias Heterotróficas - C/Co para efluente da pré-oxidação (JC), para efluentes das unidades de filtração lenta (FLA e FLA-CAG) e para relação $\text{H}_2\text{O}_2/\text{O}_3$ - Carreira 6	178
FIGURA 5.143 Valores de Nitrogênio Amoniacal (C/Co para efluente da pré-oxidação (JC), para efluentes das unidades de filtração lenta (FLA e FLA-CAG) e para relação $\text{H}_2\text{O}_2/\text{O}_3$ - Carreira 6	178
FIGURA 5.144 Valores de Nitrato - C/Co para efluente da pré-oxidação (JC), para efluentes das unidades de filtração lenta (FLA e FLA-CAG) e para relação $\text{H}_2\text{O}_2/\text{O}_3$ - Carreira 6	186
FIGURA 5.145 Valores de Turbidez - C/Co para efluente da pré-oxidação (JC), para efluentes das unidades de filtração lenta (FLA e FLA-CAG) e para relação $\text{H}_2\text{O}_2/\text{O}_3$ - Carreira 6	179
FIGURA 5.146 Valores Perda de Carga (cm) e de Taxa de Aplicação Superficial para as unidades de filtração lenta - Carreira 6	180

FIGURA 5.147 Valores Atrazina ($\mu\text{g/L}$) para o efluente da pré-oxidação (JC), do filtro lento de areia (FLA) e do filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG) – Carreira 6 181

FIGURA 5.148 Valores Atrazina desetil ($\mu\text{g/L}$) para o efluente da pré-oxidação (JC), do filtro lento de areia (FLA) e do filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG) – Carreira 6 183

FIGURA 5.149 Valores Atrazina desisopropil ($\mu\text{g/L}$) para o efluente da pré-oxidação (JC), do filtro lento de areia (FLA) e do filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG) – Carreira 6 184

FIGURA 5.150 Valores Atrazina desetil-2-hidroxi ($\mu\text{g/L}$) para o efluente da pré-oxidação (JC), do filtro lento de areia (FLA) e do filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG) – Carreira 6 184

FIGURA 5.151 Foto em microscopia de varredura, com ampliação de 200X, de grãos da superfície do carvão ativado sem uso (a) e de carvão ativado após 486 dias de uso (b) 187

LISTA DE TABELAS

TABELA 3.1 Algumas propriedades físicas e toxicológicas da atrazina	6
TABELA 3.2 Características gerais da água bruta em função do arranjo da FiME	13
TABELA 3.3 Remoção de cor pela pré-ozonização e filtração lenta	26
TABELA 3.4 Remoção de COD pela pré-ozonização e filtração lenta	
TABELA 3.5 Efeito da pré-ozonização na duração da carreira de filtração	26
TABELA 4.1 Condições operacionais	27
TABELA 4.2 Características das unidades filtrantes - pré-filtração	32
TABELA 4.3 Características das unidades filtrantes	35
TABELA 4.4 Características do ozonizador da Eaglesat	37
TABELA 4.5 Características do difusor poroso	38
TABELA 4.6 Características do aparelho medidor de ozônio na fase gasosa	40
TABELA 4.7 Características do medidor de ozônio residual	40
TABELA 4.8 Características do Gesaprim	42
TABELA 4.9 Características do peróxido de hidrogênio	42
TABELA 4.10 Parâmetros, métodos e equipamentos utilizados	44
TABELA 5.1 Valores de Condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$) para água bruta e efluente das unidades de pré-filtração - Carreira 1	59
TABELA 5.2 Valores de Alcalinidade (mg/L) para água bruta e efluente das unidades de pré-filtração - Carreira 2	67
TABELA 5.3 Valores pH para água bruta e efluente das unidades de pré-filtração - Carreira 2	67
TABELA 5.4 Valores de Oxigênio Dissolvido (mg/L) para água bruta e efluente das unidades de pré-filtração - Carreira 2	67
TABELA 5.5 Valores de Temperatura ($^{\circ}\text{C}$) para água bruta e efluente das unidades de pré-filtração - Carreira 2	67
TABELA 5.6 Valores de Atrazina ($\mu\text{g}/\text{L}$) para afluente e efluente do pré-filtro vertical ascendente - Carreira 2	68
TABELA 5.7 Valores para absorvância (cm^{-1}) e Oxigênio Consumido ($\text{OC}-\text{mg}/\text{L}$) para afluente e efluente da coluna de ozonização e de eficiência - Carreira 4	77
TABELA 5.8 Valores de Cor Verdadeira (uH) para afluente (MC) e efluente (JC) da coluna de ozonização e de Eficiência (%) - Carreira 4	78
TABELA 5.9 Valores de Cor Aparente (mg/L) para afluente (MC) e efluente (JC) da coluna de ozonização e de Eficiência (%) - Carreira 4	79
TABELA 5.10 Valores de Coliformes Totais ($\text{NMP}/100\text{mL}$) para afluente (MC) e efluente (JC) da coluna de ozonização - Carreira 4	79

TABELA 5.11 Valores de Nitrogênio Amoniacal e Nitrato (NMP/100mL) e de Eficiência (%) - 79
Carreira 4

TABELA 5.12 Valores de Oxigênio Dissolvido (mg/L) para montante e jusante da coluna - 80
Carreira 4

TABELA 5.13 Valores de Atrazina ($\mu\text{g/L}$) para montante e jusante da coluna de ozonização e 80
de Eficiência (%) - Carreira 4

TABELA 5.14 Valores dos subprodutos: atrazina desetil (atrazina desetil), atrazina 81
desisopropil (atrazina desisopropil) e atrazina desetil-2-hidroxi (atrazina desetil-2-hidroxi)
($\mu\text{g/L}$) para montante e jusante da coluna de ozonização - Carreira 4

TABELA 5.15 Valores máximos e mínimos de Absorvância (UV-254 nm - cm^{-1}) para afluentes 83
(MC) e efluente (JC) da coluna de ozonização - Carreira 5

TABELA 5.16 Valores máximos e mínimos de Carbono Orgânico Dissolvido Não-Purgável 84
(mg/L) para afluentes (MC) e efluente da coluna de oxidação (JC) e dose de ozônio
consumida (mg/L) - Carreira 5

TABELA 5.17 Valores máximos e mínimos de Cor Verdadeira (uH) para afluentes (MC) e 85
efluente da coluna de oxidação (JC) e dose de ozônio consumida (mg/L) e de Eficiência (%)
- Carreira 5

TABELA 5.18 Valores máximos e mínimos de Cor Aparente (uH) para afluentes (MC) e 85
efluente da coluna de oxidação (JC) e dose de ozônio consumida (mg/L) e de Eficiência (%)
- Carreira 5

TABELA 5.19 Valores máximos e mínimos de Oxigênio Consumido (mg/L) para afluentes 85
(MC) e efluente da coluna de oxidação (JC) e dose de ozônio consumida (mg/L) e de
Eficiência (%) - Carreira 5

TABELA 5.20 Valores de Bactérias Heterotróficas (UFC/100mL) para afluentes (MC) e 87
efluente da coluna de oxidação (JC), de dose de ozônio consumida (mg/L) e de Eficiência
(%) - Carreira 5

TABELA 5.21 Valores máximos e mínimos de Coliformes Totais (NMP/100mL) para afluentes 87
(MC) e efluente da coluna de oxidação (JC) e dose de ozônio consumida (mg/L) e de
Redução (%) - Carreira 5

TABELA 5.22 Valores máximos e mínimos de Nitrogênio amoniacal (mg/L) para afluentes 88
(MC) e efluente da coluna de oxidação (JC) e dose de ozônio consumida (mg/L) e de
Redução (%) - Carreira 5

TABELA 5.23 Valores máximos e mínimos de Nitrato (mg/L) para afluentes (MC) e efluente 88
da coluna de oxidação (JC) e dose de ozônio consumida (mg/L) e de Eficiência (%) -
Carreira 5

TABELA 5.24 Valores de Atrazina para afluentes (MC) e efluente da coluna de oxidação (JC) 89
e dose de ozônio consumida (mg/L) e de Eficiência (%) - Carreira 5

TABELA 5.25 Valores para os subprodutos desetil atrazina, atrazina desetil e atrazina 89
desetil-2-hidroxi ($\mu\text{g/L}$) para afluentes (MC) e efluente da coluna de oxidação (JC) e dose de
ozônio consumida (mg/L) - Carreira 5

TABELA 5.26 Valores de Bactérias Heterotróficas (UFC/100mL) para afluentes (MC) e 94
efluente (JC) da coluna de ozonização e de Eficiência (%) - Carreira 6

TABELA 5.27 Valores de Atrazina ($\mu\text{g/L}$) para afluentes (MC) e efluente (JC) da coluna de 97
ozonização e de Eficiência (%) - Carreira 6

TABELA 5.28 Valores para atrazina desetil, atrazina desisopropil e atrazina desetil-2-hidroxi 99
($\mu\text{g/L}$) para afluentes (MC) e efluente (JC) da coluna de ozonização - Carreira 6

TABELA 5.29 Valores de Alcalinidade (mg/L) para afluentes aos filtros lentos (PFVA) e 108
efluente do filtro lento de areia, do filtro lento com camada intermediária
de carvão ativado granular e do ponto intermediário (FLA-CAGi) - Carreira 1

TABELA 5.30 Valores pH - para afluente aos filtros lentos (PFVA) e efluente do filtro lento de areia, do filtro lento com camada intermediária de carvão ativado granular e do ponto intermediário (FLA-CAGi) - Carreira 1	108
TABELA 5.31 Valores de Oxigênio Dissolvido (mg/L) para afluente aos filtros lentos (PFVA) e efluente do filtro lento de areia, do filtro lento com camada intermediária de carvão ativado granular e do ponto intermediário (FLA-CAGi) - Carreira 1	108
TABELA 5.33 Valores de Absorvância (UV-254 nm - cm ⁻¹) para efluente do pré-filtro vertical ascendente, do filtro lento de areia e do filtro lento com camada intermediária de carvão ativado granular - Carreira 2	110
TABELA 5.34 Valores de Carbono Orgânico Dissolvido Não-Purgável (mg/L) para efluente do pré-filtro vertical ascendente, do filtro lento de areia e do filtro lento com camada intermediária de carvão ativado granular - Carreira 2	111
TABELA 5.35 Valores de Cor Verdadeira (uH) para efluente do pré-filtro vertical ascendente, do filtro lento de areia e do filtro lento com camada intermediária de carvão ativado granular - Carreira 2	112
TABELA 5.36 Valores de Cor Aparente (uH) para efluente do pré-filtro vertical ascendente, do filtro lento de areia e do filtro lento com camada intermediária de carvão ativado granular - Carreira 2	113
TABELA 5.37 Valores de Oxigênio Consumido (mg/L) para efluente do pré-filtro vertical ascendente, do filtro lento de areia e do filtro lento com camada intermediária de carvão ativado granular - Carreira 2	113
TABELA 5.38 Valores de Bactérias Heterotróficas (UFC/100mL) para efluente do pré-filtro vertical ascendente, do filtro lento de areia e do filtro lento com camada intermediária de carvão ativado granular - Carreira 2	114
TABELA 5.39 Valores de Coliformes Totais (NMP/100mL) para efluente do pré-filtro vertical ascendente, do filtro lento de areia e do filtro lento com camada intermediária de carvão ativado granular - Carreira 2	115
TABELA 5.40 Valores de Escherichia Coli (NMP/100mL) para efluente do pré-filtro vertical ascendente, do filtro lento de areia e do filtro lento com camada intermediária de carvão ativado granular - Carreira 2	115
TABELA 5.41 Valores de Nitrogênio Amoniacal (mg/L) para efluente do pré-filtro vertical ascendente, do filtro lento de areia e do filtro lento com camada intermediária de carvão ativado granular - Carreira 2	116
TABELA 5.42 Valores de Nitrato (mg/L) para efluente do pré-filtro vertical ascendente, do filtro lento de areia e do filtro lento com camada intermediária de carvão ativado granular - Carreira 2	116
TABELA 5.42 Valores de Turbidez (UT) para efluente do pré-filtro vertical ascendente, do filtro lento de areia e do filtro lento com camada intermediária de carvão ativado granular - Carreira 2	116
TABELA 5.44 Valores de Alcalinidade (mg/L) para efluente do pré-filtro vertical ascendente, do filtro lento de areia e do filtro lento com camada intermediária de carvão ativado granular - Carreira 2	117
TABELA 5.45 Valores pH - para efluente do pré-filtro vertical ascendente, do filtro lento de areia e do filtro lento com camada intermediária de carvão ativado granular - Carreira 2	118

TABELA 5.46 Valores de Oxigênio Dissolvido (mg/L) para efluente do pré-filtro vertical ascendente, do filtro lento de areia e do filtro lento com camada intermediária de carvão ativado granular - Carreira 2	118
TABELA 5.47 Valores de Temperatura (°C) para efluente do pré-filtro vertical ascendente, do filtro lento de areia e do filtro lento com camada intermediária de carvão ativado granular - Carreira 2	119
TABELA 5.48 Valores de Sólidos Suspensos Totais (mg/L) para efluente do pré-filtro vertical ascendente, do filtro lento de areia e do filtro lento com camada intermediária de carvão ativado granular - Carreira 2	119
TABELA 5.49 Valores de Condutividade Elétrica (µS/cm) para efluente do pré-filtro vertical ascendente, do filtro lento de areia e do filtro lento com camada intermediária de carvão ativado granular - Carreira 2	120
TABELA 5.50 Valores de Atrazina (µg/L) para efluente do pré-filtro vertical ascendente, do filtro lento de areia e do filtro lento com camada intermediária de carvão ativado granular - Carreira 2	121
TABELA 5.51 Valores de Absorvância (UV-254 nm - cm ⁻¹) para efluente do pré-filtro vertical ascendente, do filtro lento de areia e do filtro lento com camada intermediária de carvão ativado granular - Carreira 3	122
TABELA 5.52 Valores de Carbono Orgânico Dissolvido Não-Purgável (mg/L) para efluente do pré-filtro vertical ascendente, do filtro lento de areia e do filtro lento com camada intermediária de carvão ativado granular - Carreira 3	123
TABELA 5.53 Valores de Cor Verdadeira (uH) para efluente do pré-filtro vertical ascendente, do filtro lento de areia e do filtro lento com camada intermediária de carvão ativado granular - Carreira 3	124
TABELA 5.54 Valores de Cor Aparente (uH) para efluente do pré-filtro vertical ascendente, do filtro lento de areia e do filtro lento com camada intermediária de carvão ativado granular - Carreira 3	124
TABELA 5.55 Valores de Oxigênio Consumido (mg/L) para efluente do pré-filtro vertical ascendente, do filtro lento de areia e do filtro lento com camada intermediária de carvão ativado granular - Carreira 3	125
TABELA 5.56 Valores de Coliformes Totais (NMP/100mL) para efluente do pré-filtro vertical ascendente, do filtro lento de areia e do filtro lento com camada intermediária de carvão ativado granular - Carreira 3	126
TABELA 5.57 Valores de Escherichia Coli (NMP/100mL) para efluente do pré-filtro vertical ascendente, do filtro lento de areia e do filtro lento com camada intermediária de carvão ativado granular - Carreira 3	127
TABELA 5.58 Valores de Nitrogênio Amoniacal (mg/L) para efluente do pré-filtro vertical ascendente, do filtro lento de areia e do filtro lento com camada intermediária de carvão ativado granular - Carreira 3	127
TABELA 5.59 Valores de Nitrato (mg/L) para efluente do pré-filtro vertical ascendente, do filtro lento de areia e do filtro lento com camada intermediária de carvão ativado granular - Carreira 3	128
TABELA 5.60 Valores de Condutividade Elétrica (µS/cm) para efluente do pré-filtro vertical ascendente, do filtro lento de areia e do filtro lento com camada intermediária de carvão ativado granular - Carreira 3	130
TABELA 5.61 Valores de Oxigênio Dissolvido para efluente do pré-filtro vertical ascendente, do filtro lento de areia e do filtro lento com camada intermediária de carvão ativado granular - Carreira 3	131

TABELA 5.62 Valores de Atrazina ($\mu\text{g/L}$) para efluente do pré-filtro vertical ascendente, do filtro lento de areia e do filtro lento com camada intermediária de carvão ativado granular - Carreira 3	132
TABELA 5.63 Valores de atrazina desetil ($\mu\text{g/L}$) para efluente do pré-filtro vertical ascendente, do filtro lento de areia e do filtro lento com camada intermediária de carvão ativado granular - Carreira 3	133
TABELA 5.64 Valores de atrazina desisopropil ($\mu\text{g/L}$) para efluente do pré-filtro vertical ascendente, do filtro lento de areia e do filtro lento com camada intermediária de carvão ativado granular - Carreira 3	134
TABELA 5.65 Valores de atrazina desetil-2-hidroxi ($\mu\text{g/L}$) para efluente do pré-filtro vertical ascendente, do filtro lento de areia e do filtro lento com camada intermediária de carvão ativado granular - Carreira 3	135
TABELA 5.66 Valores de somatória de Atrazina e Metabólitos ($\mu\text{g/L}$) para efluente do pré-filtro vertical ascendente, do filtro lento de areia e do filtro lento com camada intermediária de carvão ativado granular - Carreira 3	136
TABELA 5.67 Valores de Absorvância (cm^{-1}) para efluente da coluna (JC), do filtro lento de areia e do filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular e de Eficiência (%) - Carreira 4	138
TABELA 5.68 Valores de Cor Verdadeira (uH) para efluente da coluna (JC), do filtro lento de areia e do filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular e de Eficiência (%) - Carreira 4	139
TABELA 5.69 Valores de Cor Aparente (uH) para efluente da coluna (JC), do filtro lento de areia e do filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular e de Eficiência (%) - Carreira 4	140
TABELA 5.70 Valores de Oxigênio Consumido (mg/L) para efluente da coluna (JC), do filtro lento de areia e do filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular e de Eficiência (%) - Carreira 4	140
TABELA 5.71 Valores de Coliformes Totais (NMP/100mL) para efluente da coluna (JC), do filtro lento de areia e do filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular e de Eficiência (%) - Carreira 4	141
TABELA 5.72 Valores de Escherichia Coli (NMP/100mL) e de Eficiência (%) para efluente da coluna (JC), do filtro lento de areia e do filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular e de Eficiência (%) - Carreira 4	141
TABELA 5.73 Valores de Nitrogênio Amoniacal e de Nitrato (mg/L) para efluente da coluna (JC), do filtro lento de areia e do filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular e de Eficiência (%) - Carreira 4	142
TABELA 5.74 Valores de Oxigênio Dissolvido (mg/L) para efluente da coluna (JC), do filtro lento de areia e do filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular e de Eficiência (%) - Carreira 4	143
TABELA 5.75 Valores de Atrazina para efluente da coluna (JC), do filtro lento de areia e do filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular e de Eficiência (%) - Carreira 4	144
TABELA 5.76 Valores de Atrazina desetil ($\mu\text{g/L}$) para efluente da coluna (JC), do filtro lento de areia e do filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular e de Eficiência (%) - Carreira 4	145
TABELA 5.77 Valores de Atrazina desisopropil ($\mu\text{g/L}$) para efluente da coluna (JC), do filtro lento de areia e do filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular e de Eficiência (%) - Carreira 4	146

TABELA 5.78 Valores de Atrazina desetil-2-hidroxi ($\mu\text{g/L}$) para efluente da coluna (JC), do filtro lento de areia e do filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular e de Eficiência (%) – Carreira 4	147
TABELA 5.79 Somatória dos valores de Atrazina e Metabólitos ($\mu\text{g/L}$) para efluente da coluna (JC), do filtro lento de areia e do filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular e de Eficiência (%) – Carreira 4	147
TABELA 5.80 Valores de Absorvância (cm^{-1}) para efluente da coluna de ozonização e dos filtros lentos e valores de Eficiência (%) - Carreira 4	149
TABELA 5.81 Valores de Carbono Orgânico Dissolvido Não-Purgável (mg/L) para efluente da coluna de ozonização e dos filtros lentos e valores de Eficiência (%) - Carreira 5	150
TABELA 5.82 Valores de Cor Verdadeira (uH) para efluente da coluna de ozonização e dos filtros lentos e valores de Eficiência (%) - Carreira 5	151
TABELA 5.83 Valores máximos e mínimos de Cor Aparente (uH) para efluente da coluna de ozonização e dos filtros lentos e valores de Eficiência (%) - Carreira 5	152
TABELA 5.84 Valores de Oxigênio Consumido (mg/L) para efluente da coluna de ozonização e dos filtros lentos e valores de Eficiência (%) - Carreira 5	153
TABELA 5.85 Valores de Bactérias Heterotróficas (UFC/100mL) para efluente da coluna de ozonização e dos filtros lentos e valores de Eficiência (%) - Carreira 5	154
TABELA 5.86 Valores de Coliformes Totais (NMP/100mL) para efluente da coluna de ozonização e dos filtros lentos e valores de Eficiência (%) - Carreira 5	154
TABELA 5.87 Valores de Escherichia Coli (NMP/100mL) para efluente da coluna de ozonização e dos filtros lentos e valores de Eficiência (%) - Carreira 5	155
TABELA 5.88 Valores de Nitrogênio amoniacal (mg/L) para efluente da coluna de ozonização e dos filtros lentos e valores de Eficiência (%) - Carreira 5	155
TABELA 5.89 Valores de Nitrato (mg/L) para efluente da coluna de ozonização e dos filtros lentos e valores de Eficiência (%) - Carreira 5	156
TABELA 5.90 Valores de Fosfato (mg/L) para efluente da coluna de ozonização e dos filtros lentos e valores de Eficiência (%) - Carreira 5	157
TABELA 5.91 Valores de Sólidos Suspensos Totais (mg/L) para efluente da coluna de ozonização e dos filtros lentos e valores de Eficiência (%) - Carreira 5	159
TABELA 5.92 Valores de Condutividade Elétrica ($\mu\text{S/cm}$) para efluente da coluna de ozonização e dos filtros lentos e valores de Eficiência (%) - Carreira 5	160
TABELA 5.93 Valores Alcalinidade (mg/L-CaCO_3) para efluente da coluna de ozonização e dos filtros lentos - Carreira 5	160
TABELA 5.94 Valores de Oxigênio Dissolvido (mg/L) - para efluente da coluna de ozonização e dos filtros lentos - Carreira 5	160
TABELA 5.95 Valores de Atrazina ($\mu\text{g/L}$) para efluente da coluna de ozonização e dos filtros lentos e valores de Eficiência (%) - Carreira 5	162
TABELA 5.96 Valores de atrazina desetil ($\mu\text{g/L}$) para efluente da coluna de ozonização e dos filtros lentos e valores de Eficiência (%) - Carreira 5	164
TABELA 5.97 Valores de atrazina desisopropil ($\mu\text{g/L}$) para efluente da coluna de ozonização e dos filtros lentos e valores de Eficiência (%) - Carreira 5	165
TABELA 5.98 Valores de atrazina desetil-2-hidroxi ($\mu\text{g/L}$) para efluente da coluna de ozonização e dos filtros lentos e valores de Eficiência (%) - Carreira 5	166
TABELA 5.99 Soma de atrazina mais subprodutos ($\mu\text{g/L}$) para efluente da coluna de ozonização e dos filtros lentos - Carreira 5	167
TABELA 5.100 Valores de Absorvância (UV-254 nm – cm^{-1}) para efluente da pré-oxidação (JC) e dos filtros lentos de areia e carvão ativado granular e de Eficiência (%) - Carreira 6	171
TABELA 5.101 Valores de Carbono Orgânico Dissolvido Não-Purgável (mg/L) para efluente da pré-oxidação (JC) e dos filtros lentos de areia e carvão ativado granular e de Eficiência	172

(%) - Carreira 6

TABELA 5.102 Valores de Cor Verdadeira (uH) para efluente da pré-oxidação (JC) e dos filtros lentos de areia e carvão ativado granular e de Eficiência (%) - Carreira 6	173
TABELA 5.103 Valores máximos e mínimos de Cor Aparente (uH) para efluente da pré-oxidação (JC) e dos filtros lentos de areia e carvão ativado granular e de Eficiência (%) - Carreira 6	175
TABELA 5.104 Valores de Oxigênio Consumido (mg/L) para efluente da pré-oxidação (JC) e dos filtros lentos de areia e carvão ativado granular e de Eficiência (%) - Carreira 6	175
TABELA 5.105 Valores de Bactérias Heterotróficas (UFC/100mL) para efluente da pré-oxidação (JC) e dos filtros lentos de areia e carvão ativado granular e de Eficiência (%) - Carreira 6	176
TABELA 5.106 Valores de Atrazina ($\mu\text{g/L}$) para efluente da pré-oxidação (JC) e dos filtros lentos de areia e carvão ativado granular e de Eficiência (%) - Carreira 6	182
TABELA 5.107 Valores atrazina desetil ($\mu\text{g/L}$) para efluente da pré-oxidação (JC) e dos filtros lentos de areia e carvão ativado granular e de Eficiência (%) - Carreira 6	183
TABELA 5.108 Valores atrazina desisopropil ($\mu\text{g/L}$) para efluente da pré-oxidação (JC) e dos filtros lentos de areia e carvão ativado granular e de Eficiência (%) - Carreira 6	184
TABELA 5.109 Valores atrazina desetil-2-hidroxi ($\mu\text{g/L}$) para efluente da pré-oxidação (JC) e dos filtros lentos de areia e carvão ativado granular e de Eficiência (%) - Carreira 6	185
TABELA 5.110 Valores para somatória de atrazina e subprodutos ($\mu\text{g/L}$) para efluente da pré-oxidação (JC) e dos filtros lentos de areia e carvão ativado granular e de Eficiência (%) - Carreira 6	186

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AB	- Água bruta
ATZ	- Atrazina
CAAT	- 2-Cloro-4,6-diamino-s-triazina – clorodiamino-s-triazina
CAB	- Carvão ativado biológico
CAG	- Camada de carvão ativado granular
Cag	- Carvão ativado granular
CDAT	- Deisopropilatrazina amida
CEAT	- Atrazina desisopropil
CIAT	- Atrazina desetil
CODB	- Carbono orgânico dissolvido biodegradável
CODNP	- Carbono orgânico dissolvido não-purgável
COT	- Carbono orgânico dissolvido
DL	- Dose letal
FIME	- Filtração em Múltiplas Etapas
FLA	- Filtro lento com camada única de areia
FLA-CAG	- Filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular
FLA-CAGi	- Filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular
FLA-CAG2	- Filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular novo
HAAs	- Ácidos haloacéticos
HPLC	- Chromatography liquid performance heigh (?)
JC	- Jusante da coluna
MC	-Montante da coluna
MON	- Matéria orgânica natural
OIAT	- Atrazina desetil-2-hidroxi
OIET	- Hydroxyatrazina
OOOT	- Ácido cianúrico
PCE	- Tetracloroetileno
PFVA	- Pré-filtro vertical ascendente
PFD	- Pré-filtro dinâmico
POA	- Processo avançado de oxidação
THMS	- Trialometanos
TCE	- Tricloroetileno
USEPA	- United States Environmental Protection Agency
UV	- ultravioleta
uH	- Unidades Hazen
UT	- Unidades de turbidez
V	- Volts

RESUMO

COELHO, E.R.C.(2002). *Influência da pré-oxidação com ozônio e peróxido de hidrogênio na remoção de atrazina em filtros lentos de areia e carvão ativado granular*. São Carlos, 2002. 248p. Tese (doutorado) Escola de Engenharia de São Carlos

O interesse na remoção de material orgânico no tratamento de águas de abastecimento surgiu em decorrência do aumento na poluição dos mananciais, da descoberta de novas doenças de veiculação hídrica e do melhor conhecimento das propriedades mutagênicas e carcinogênicas de poluentes orgânicos, entre eles os agroquímicos. Na presente pesquisa foi estudada a seqüência de processos de tratamento: pré-filtração; pré-oxidação com ozônio e ozônio associado ao peróxido de hidrogênio e filtração lenta com leito de areia e leito de carvão ativado granular. Para concentração de atrazina no afluente entre 2,2 e 110,3 µg/L o filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular apresentou para a condição de não utilização de pré-oxidação valores para atrazina no efluente inferiores a 2,0 µg/L e para dose de ozônio entre 0,9 e 3,7 mg/L e para relação de peróxido de hidrogênio entre 0,1 e 1,1 valores para atrazina inferiores a 0,1 µg/L. O sistema de tratamento com pré-filtração, pré-oxidação com ozônio e ozônio associado ao peróxido de hidrogênio seguido da filtração lenta com camada intermediária de carvão ativado granular, mostrou-se eficiente na remoção de atrazina para concentrações inferiores a 0,1 µg/L.

Palavras-chave: filtração lenta; carvão ativado granular; atrazina; ozônio; peróxido de hidrogênio.

ABSTRACT

COELHO, E.R.C.(2002). *Effects of pré-oxidation with ozone and ozone associated to hydrogen peroxide in removing atrazine in slow sand filtration and granular activated carbon filtration*. São Carlos, 2002. 248p. Tese (doutorado) Escola de Engenharia de São Carlos.

The interest in removing organic matter in supplying waters treatment processes emerged from the increasing levels of water pollution worldwide, the discovery of new water-born diseases and of a better knowledge of mutating (mutagenic) and carcinogenic features of organic pollutants, including the pesticides. The two sequential arrangements for the water treatment process considered in this research were: 1) pre-filtration, slow sand filtration and granular activated carbon filtration; and 2) pre-filtration, pre-oxidation with ozone and ozone associated to hydrogen peroxide, slow sand filtration and granular activated carbon filtration. For concentrations of atrazine between 2.2 and 110.3 µg/l in the affluent, its concentration in the effluent was lower than 2.0 µg/l for the first arrangement, and lower than 0.1 µg/l for the second one, in this case for consumed doses of ozone between 0.9 and 3.7 mg/l and ratio H_2O_2/O_3 between 0.1 and 1.1. The treatment system used composed of pre-filtration, pre-oxidation with ozone and ozone associated to hydrogen peroxide followed by the slow filtration, with an intermediate layer of granular activated carbon, was found efficient in reducing atrazine to levels inferior to 0.1 µg/l.

Keywords: slow sand filtration, granular carbon activated; atrazine; ozônio; hydrogen peroxide.

1 INTRODUÇÃO

O interesse na remoção de material orgânico no tratamento de águas de abastecimento surgiu em decorrência do aumento na poluição dos mananciais, da descoberta de novas doenças de veiculação hídrica e do melhor conhecimento das propriedades mutagênicas e carcinogênicas de alguns poluentes orgânicos, entre eles os agroquímicos. A atrazina é o agroquímico mais freqüentemente encontrado em águas naturais dos Estados Unidos, Europa, Espanha, Austrália e Canadá. Em Ribeirão Preto, na bacia do Espiraiado, foi constatada alta contaminação do solo por atrazina. O Brasil é o quinto maior consumidor de agroquímicos do mundo e pesquisadores calculam que somente 0,1 por cento do produto aplicado atinge o alvo específico, enquanto os restantes 99,9 por cento podem atingir diferentes compartimentos ambientais como solo, ar e mananciais (UETA et al., 2001). A atrazina é extensivamente utilizada (principalmente no controle de ervas daninhas nas culturas do milho, cana-de-açúcar, abacaxi, sorgo e banana) e não é removida por processos de tratamento de água que utilizam a coagulação, floculação, sedimentação e filtração. Segundo HYLTMAN (1982), os processos que têm sido mais estudados para remoção de micropoluentes orgânicos são: "air stripping", oxidação com ozônio, oxidação avançada, adsorção em carvão ativado e filtração biológica ou a combinação destes.

Uma concepção para tratamento de água combinando as vantagens da filtração lenta (precedida de pré-tratamento) e do carvão ativado granular tem sido utilizada indicando um excelente tratamento físico e biológico produzindo significativa diminuição no conteúdo orgânico das águas (MILTNER et al. 1992; ODEGAARD, 1996; WOULDNEH et al. 1996).

A combinação de processos associando a pré-ozonização e filtração lenta com leito de areia e de carvão ativado granular tem sido utilizada na remoção de matéria orgânica analisada por cor, gosto e odor (BRYANT, 1992; MILTNER et al. 1992; CABLE & JONES, 1996; YORDANOV et al., 1996; ODEGAARD, 1996 e BAUER, 1996), na diminuição de subprodutos da desinfecção, no controle de micropoluentes tais como atrazina, simazina, isopruton e diuron (SINGER, 1990; BAUER et al, 1996) e na diminuição de alguns subprodutos específicos da ozonização, tais como aldeídos (formaldeído, acetaldeído, glioxal, metilglioxal), ácidos carboxílicos (ácido fórmico, acético, oxálico, glioxálico, pirúvico) e cetonas (KRASNER et al. 1993; COFFEY et al. 1996). A oxidação da atrazina por ozônio, pelo radical hidroxila e por fotocatalise, não promove a mineralização ou rompimento do anel de triazina e este pode ser bioquimicamente oxidado por certas cepas de microrganismos acarretando à completa mineralização e ter tratamento subsequente por carvão ativado granular (FOSTER et al., 1991; ADAMS & RANDTKE, 1992).

OBJETIVOS

O trabalho teve como objetivo avaliar a influência de utilização de ozônio e peróxido de hidrogênio no desempenho da filtração lenta em uma instalação piloto de filtração em múltiplas etapas, FiME, para tratamento de água proveniente de manancial superficial, da cidade de São Carlos, SP, na remoção de atrazina e matéria orgânica. Ênfases específicas foram dadas na:

- avaliação da Filtração em Múltiplas Etapas na diminuição de matéria orgânica e microrganismos;
- avaliação da oxidação com ozônio e da filtração lenta com meio filtrante de areia e meio filtrante de areia com camada intermediária de carvão ativado granular na diminuição de atrazina, matéria orgânica e microrganismos, precedida de pré-oxidação com ozônio;
- avaliação da oxidação com ozônio associado ao peróxido de hidrogênio e da filtração lenta com meio filtrante de areia e com leito de areia com camada intermediária de carvão ativado granular na remoção de atrazina, matéria orgânica e microrganismos, utilizando-se a pré-oxidação com ozônio associado ao peróxido de hidrogênio.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Natureza e origem de micropoluentes orgânicos em Tratamento de água

Os constituintes orgânicos que estão presentes em águas de abastecimento, antes do processo de tratamento, são derivados de fontes naturais e antropogênicas e podem estar na forma de matéria em suspensão ou dissolvida. A matéria orgânica dissolvida pode incluir compostos orgânicos naturais e micropoluentes provenientes de lançamento de esgotos domésticos e efluentes industriais, sabões, detergentes, material proveniente de lixiviação do solo, principalmente agroquímicos e agroquímicos, micropoluentes formados durante a passagem da água através de meios naturais, incluindo produtos de hidrólise, fotólise ou transformação biológica. Os compostos orgânicos dissolvidos ou particulados presentes, em baixa concentração, em águas de abastecimento contribuem para o crescimento de bactérias heterotróficas que utilizam o carbono orgânico para produzir material celular ou para obter energia. Quando estes compostos não são removidos durante o processo de tratamento de água, podem contribuir para acelerar a taxa de corrosão na tubulação, aumentar a incidência de doenças causadas por bactérias, comprometer a eficiência do residual para desinfecção e aumentar a formação de precursores da desinfecção. O conjunto das diferentes formas de matéria orgânica é denominado de matéria orgânica natural (MON) e tem um impacto significativo no tratamento de águas de abastecimento principalmente quando se considera a remoção de micropoluentes

A grande maioria dos compostos dissolvidos de natureza orgânica (avaliada como carbono orgânico dissolvido, COD, que é a fração orgânica que pode ser analisada após a água ser filtrada em membrana de poros de 0,45 μm) é proveniente da decomposição da matéria orgânica da natureza. Tais compostos, chamados de substâncias húmicas, são a causa principal da presença de cor em águas naturais. Substâncias húmicas são macromoléculas com caráter aromático, de grande peso molecular e resistência à biodegradação. Esses compostos podem ser precursores dos subprodutos da desinfecção e favorecem o crescimento biológico no sistema de tratamento e distribuição. Carboidratos, aminoácidos, polímeros e ácidos carboxílicos também compreendem uma fração de matéria orgânica em águas naturais. A quantificação da matéria orgânica em estações de tratamento de água é usualmente

caracterizada por medidas indiretas como: absorvância a 254nm ou 270 nm; carbono orgânico dissolvido; oxigênio consumido; precursores dos trihalometanos, (EDZWAL et al., 1985).

Os agroquímicos e micropoluentes (também chamados de micropoluentes), sempre encontrados em pequenas quantidades (frequentemente da ordem de microgramas por litro), são relativamente persistentes na natureza e no organismo humano, tornando-se um sério problema para a saúde (BELTRAN et al. 1993). A biodegradabilidade destes compostos varia com a sua composição orgânica e interação com outros tipos de matéria orgânica presentes na água a ser tratada.

A atrazina tem sido identificada como contaminante em águas superficiais e de poços. No rio Llobregat, no noroeste da Espanha, que abastece a região de Barcelona, foi encontrado atrazina na concentração que variou de 1 a 20 µg/L, (RIVERA et al. 1986, citados por DRIES et al. 1987).

A análise de micropoluentes nitrogenados presentes em água superficial em Brittany, França, resultou na identificação de 20 compostos em água bruta, principalmente agroquímicos, entre eles s-triazinas (simazina, atrazina) na concentração de 4 a 45 µg/L. Nos Estados Unidos e Europa, a atrazina tem sido encontrada em mananciais com concentração variando de 2,9 a 89 µg/L (MILTNER et al., 1989; UETA et al., 2001). O monitoramento de poços nos Estados Unidos mostrou que 4 por cento dos 15000 poços estavam contaminados com atrazina. O Rio Mississippi carrega atualmente cerca de 160 toneladas de atrazina para o Golfo do México (UETA et al. 2001). Análises sistemáticas de micropoluentes têm mostrado a característica sazonal de várias espécies entre a ocorrência e não-ocorrência desses compostos (LANGLAIS et al. 1991). A atrazina tem sido encontrada em efluentes de Estações de Tratamento de Água, em concentrações superiores ao valor estabelecido pelos padrões de potabilidade (RIVERA et al. 1986, citados por DRIES et al. 1987; ZELT & STAMER, 1994).

No Brasil, a atrazina é bastante comercializada. Liberada pelo Ministério da Agricultura, está enquadrada na classe toxicológica III e é utilizada, principalmente, no controle de ervas daninhas nas culturas de milho, cana-de-açúcar, abacaxi, sorgo e banana, não havendo restrições de aplicação em solos arenosos. (COMPÊNDIO DE DEFENSIVOS AGRÍCOLAS, 1987). No solo da região de Ribeirão Preto, conhecida como microbacia do Espirado, foi constatada alta contaminação por agroquímico, em especial a atrazina. Na região de São Carlos, SP, a atrazina é bastante utilizada, principalmente na cultura de cana-de-açúcar, sendo comercializada com o nome de Gesaprim 500. No entanto, não se tem notícias de levantamento da sua presença nos rios e lagos da região.

A poluição por matéria orgânica, principalmente os agroquímicos, é hoje um problema para tratamento de águas de abastecimento. Alguns padrões internacionais têm sido estabelecidos. Na Europa, o EC Drinking Water Directive (80/778/EEC, 1989) inclui um limite individual de

0,1 µg/L e limite para somatória de agroquímicos mais subprodutos de 0,5 µg/L. O mesmo limite foi incorporado por UK Water Supply (Water Quality Regulations Nº 1147, 1989). A USEPA (United States Environmental Protection Agency) estabelece um valor máximo de contaminação de 3,0 µg/L para a atrazina (com base em evidência toxicológica) e sugere o carvão ativado granular (CAG) como melhor alternativa tecnológica na sua remoção (FOSTER et al., 1991; ADANS & RANDTKE, 1992). No Brasil, entrou em vigor, a partir de 10/01/01, a Portaria Nº 1469 do Ministério da Saúde, intitulada "Norma de Qualidade da Água para Consumo Humano". Nesta portaria ficou estabelecida a concentração máxima permitida para atrazina no valor de 2,0 µg/L. Diante da constatação da presença de atrazina em mananciais superficiais e subterrâneos, existe uma necessidade urgente na pesquisa de sistemas que reduzam a sua concentração a valores aceitáveis determinados pelas legislações, para que não haja comprometimento da saúde humana.

Os tratamentos de água superficial como coagulação química, filtração rápida e filtração lenta reduzem a concentração de pesticidas com baixa solubilidade, exceto quando estão complexados com substâncias húmicas, mas nem sempre estes valores enquadram-se dentro dos padrões de potabilidade. FOSTER et al. (1991) encontraram atrazina em água superficial no rio Tâmsa na Inglaterra e estudaram a remoção em tratamento de água com coagulação química e filtração lenta. Para concentração média de atrazina na água do rio igual a 0,6 µg/L (no período entre julho de 1989 e setembro de 1990) o efluente dos dois tratamentos apresentaram concentração média de 0,22 mg/L, não atendendo o padrão de potabilidade europeu que é de 0,1 µg/L.

Os processos que tem sido mais estudados para remoção de micropoluentes orgânicos (pesticidas, trihalometanos e orgânicos clorados) são: "air stripping" para remover solventes orgânicos voláteis, oxidação com ozônio e oxidação avançada, adsorção e filtração em carvão ativado e filtração biológica, ou a combinação destes (FOSTER et al., 1991 e LAMBERT et al., 1996).

3.1.1 Atrazina

A atrazina (2-cloro-4-etilenodiamino-6-isopropilamino-s-triazina) é um agroquímico da classe das s-triazinas, seletivo no controle de ervas daninhas, principalmente em culturas de milho, cana de açúcar e soja. As propriedades dos agroquímicos da classe s-triazinas foram descobertas em 1952 e as primeiras aplicações foram feitas na Europa em 1954. A ação seletiva destes compostos e as propriedades químicas do agroquímico foram reportadas pela primeira vez em 1955. É classificada pela USEPA como sendo de possível potencial carcinogênico para o homem e é caracterizada pela sua abrangente aplicação, relativa resistência à oxidação e alta persistência no solo e em ambientes aquáticos e absorção

moderada à matéria orgânica, (AGERTVED et al., 1992; MILTNER et al., 1992). A Figura 3.1 apresenta a estrutura molecular, nome comum, nome químico e fórmula química da atrazina e na Tabela 3.1, estão listadas algumas propriedades físicas e toxicológicas.

FIGURA 3.1. Estrutura molecular, nome comum, nome químico e fórmula química da atrazina (SMITH et al., 1982).

TABELA 3.1 Algumas propriedades físicas e toxicológicas da atrazina

PROPRIEDADES

Solubilidade em água (mg/L, 20-25 °C)	33
Densidade (g/cm ³)	1,187
Peso molecular (g/mol)	215,69
LD50 (ratos – mg/kg)	3080

Fonte: (SMITH et al. 1982)

O valor de LD50, de 3080 mg/kg, indica baixa a moderada toxicidade para mamíferos (SMITH et al., 1982). O rompimento do anel de triazina ocorre em condições de aquecimento com ácido sulfúrico, ebulição com álcalis ou aquecimento a temperaturas elevadas. No entanto, alguns trabalhos têm mostrado que as s-triazinas podem ser degradadas pela via biológica, por algumas espécies de fungos e bactérias. É de importância ressaltar o tempo entre a descoberta e aplicação do agroquímico e a avaliação dos impactos no meio ambiente e na saúde humana principalmente nos países "em desenvolvimento". No Brasil o agroquímico atrazina foi incorporado aos padrões de potabilidade da Portaria N° 1469 de 29 de dezembro de 2000 que estabelece o limite máximo permissível igual a 2,0 µg/L.

3.1.1.1 Degradação da atrazina

A revisão da literatura indica que muitos estudos têm sido realizados para avaliar a biodegradação da atrazina em cultura pura e cultura mista em solos (WOLF & MARTIN, 1975; DRIES et al., 1987; FEAKIN et al., 1994; BICHAR et al., 1999). As culturas puras, capazes de metabolizar ou degradar parcialmente a atrazina, têm sido isoladas de sedimentos que receberam efluentes contendo s-triazinas. Esta condição reflete a adaptação ou evolução genética de algumas espécies, em resposta à aplicação contínua da atrazina em solo e água.

A atrazina pode ser degradada por processo abiótico ou biótico. Tanto na degradação biológica quanto na química, pode ocorrer hidrólise do carbono, na segunda posição, para produzir hidroxiatrazina. A hidrólise de atrazina pode ser desprezada sob pH neutro (HELWEG 1989, citado por ARGETVED et al, 1992). As vias biológicas de degradação da atrazina ainda não foram claramente determinadas, mas há indicação de que a atrazina pode atuar como fonte de nitrogênio e fósforo, para bactérias presentes em solos naturais, solos enriquecidos com cultura pura e em águas superficiais (KOLPIN & KALKHOFF, 1993; FEAKIN et al., 1994; BICHAT et al., 1999). No estado puro, a atrazina é relativamente estável e pode ser armazenada por muitos anos. No solo, a meia vida da atrazina varia de 60 a 120 dias (THURMAN et al., 1994). No meio ambiente, sua transformação se inicia imediatamente após sua aplicação e segue três principais vias de degradação. A primeira via pode ser a de hidrólise da ligação carbono-cloro, induzindo a formação de hidroxiatrazina, que é um dos principais produtos de degradação no solo e na água. A segunda é a N-dealkilação (desalquilação) do carbono 4 e 6, originando diferentes subprodutos como a atrazina de-etilada (atrazina desetil - atrazina desetil), a atrazina deiso-propilada (atrazina desisopropil - atrazina desisopropil) e a atrazina desetilada e deisopropilada (CAAT). Cada subproduto segue caminhos diferentes para um produto intermediário comum, ácido cianúrico (OOOT). Essas reações intermediárias têm sido tentativamente identificadas como reações de desaminação. A terceira via corresponde à quebra do anel de triazina e o subproduto OOOT (ácido cianúrico) é degradado à uréia e depois em dióxido de carbono e água (COOK, 1987). Na Figura 3.2. é apresentado um esquema do caminho subprodutos para degradação da atrazina por microrganismos.

KOLPIN & KAKHOFF (1993) estudaram a degradação de atrazina em pequeno rio, em IOWA, e encontraram diminuição no conteúdo de atrazina que variou entre 0,4 e 2,49 por cento. A concentração de atrazina no ponto inicial escolhido variou de 0,09 a 4,85 µg/L. De acordo com os autores, existem quatro explicações possíveis para a degradação de atrazina: remoção por sorção no sedimento; diluição; volatilização e degradação. Os mecanismos de sorção, diluição e volatilização são os que contribuem menos para a diminuição de atrazina, uma vez que 99 por cento da atrazina está em solução. Os pesquisadores têm encontrado pequena quantidade de atrazina em sedimentos. A volatilização é importante no solo e existem poucos trabalhos que quantificaram a volatilização da atrazina em água. Os autores sugeriram que o mecanismo dominante na diminuição de atrazina foi o processo de degradação e identificaram também os subprodutos atrazina desetil e atrazina desisopropil.

Segundo WOLF & MARTIN (1975), a presença de 2,5 mg/L de atrazina, ácido cianúrico ou atrazina desetil (atrazina desetil) não afetou a atividade dos microrganismos nem a atividade de fungos isolados em solos aeróbios e solos saturados, avaliada através da medida de produção de CO₂. Ainda segundo o mesmo autor, a concentração de atrazina que afeta o número de microrganismos é muitas vezes maior que a taxa de aplicação normalmente

utilizada em solos. O efeito do agroquímico atrazina em ensaio piloto no processo de lodos ativados foi estudado por NSABIMAN et al. (1996) e a concentração de 20 µg/L não afetou a atividade metabólica dos lodos ativados.

WOUDNEH et al. (1996) estudaram a remoção de atrazina em um sistema de pré-filtração de fluxo ascendente em pedregulho com três unidades em série seguidas de filtro lento de areia, utilizando água do rio Tillingbourne, na Inglaterra. A atrazina foi adicionada ao afluente dos pré-filtros resultando em concentração de 3,12 a 5,00 µg/L por 33 dias. Segundo os autores, não ocorreu diminuição no conteúdo da atrazina devido ao seu baixo coeficiente cinético de degradação e sua toxicidade aos microrganismos. No solo e em lodos ativados, a concentração de atrazina, entre 20 e 2000 µg/L, respectivamente, não comprometeu o processo biológico (NSABIMAN et al., 1996; WOLF & MARTIN, 1975).

3.1.2 Remoção de matéria orgânica natural

Os processos de tratamento de água de abastecimento, constituídos de coagulação, sedimentação e filtração, podem não ser eficientes na diminuição de substâncias orgânicas para que o efluente se enquadre dentro dos padrões de potabilidade vigentes (SAKODA et al., 1996). Os processos de tratamento atualmente utilizados para que o efluente tratado se enquadre dentro dos padrões de potabilidade com relação ao conteúdo orgânico e micropoluentes, como agroquímicos, são os processos biológicos, filtração em carvão ativado granular, processo de separação de fases com membranas (nanofiltração e osmose reversa) e processo de oxidação (ORLANDINI et al., 1997). A associação de processos tem sido também uma alternativa, principalmente para adequação de instalações de tratamento já existentes, com o objetivo de adequar o efluente aos padrões de potabilidade cada vez mais restritivos, para diminuição do conteúdo orgânico das águas de abastecimento.

O processo biológico tem sido utilizado na diminuição do conteúdo orgânico avaliado pelas medidas de: cor, gosto e odor, subprodutos da desinfecção, precursores dos subprodutos de desinfecção e de alguns agroquímicos. É especialmente importante, após o processo de ozonização, pois este aumenta a biodegradabilidade da matéria orgânica presente, sendo necessária sua estabilização para posterior distribuição para consumo humano. A estabilização biológica diminui a quantidade necessária de produto químico para se manter residual de desinfetante no sistema de distribuição e, como consequência, reduz a presença dos subprodutos decorrentes da desinfecção e previne o crescimento de bactérias no sistema de distribuição (RANDALL & ESCOBAR, 2001).

Os processos biológicos mais utilizados em tratamento de água de abastecimento são a filtração lenta, filtros com leitos fluidizados (RITTMANN, 1985; RITTMANN & MANEM, 1992) e filtros biológicos com anéis pré-fabricados (WOUDNEH et al., 1996). Algumas unidades de pré-tratamento podem ser consideradas, também, processos biologicamente

ativos; no entanto, reações abióticas também ocorrem, havendo diminuição de constituintes orgânicos e inorgânicos (RITTMANN, 1985). Outros processos apresentam biodegradação, sem que a atividade biológica seja o objetivo principal, como os filtros rápidos de areia e carvão ativado granular, especialmente quando a ozonização é aplicada antes desses processos. A diminuição do conteúdo orgânico pode também ser conseguida por mecanismos não biológicos, tais como coagulação, sedimentação, filtração, adsorção em carvão ativado, membranas e oxidação com produtos químicos associados, ou não, ao processo biológico. A pré-ozonização seguida de filtração biológica, incorporando carvão ativado granular, pode ser considerada uma opção econômica e ambientalmente apropriada para tratar águas que obedecem aos padrões nacionais e internacionais de potabilidade da água, com relação à remoção de matéria orgânica e diminuição na formação dos trihalometanos, bem como a estabilidade biológica necessária nos sistemas de distribuição (RANDALL & ESCOBAR, 2001).

Dentre os processos propostos para diminuição de matéria orgânica, principalmente a atrazina, no presente trabalho foi utilizada a associação de pre-oxidação com ozônio e ozônio associado ao peróxido de hidrogênio seguido da filtração lenta em filtro de areia e filtro de areia com camada intermediária de carvão ativado granular.

3.2 Filtração Lenta

A filtração lenta é um sistema de tratamento de operação simplificada que, em verdade, simula mecanismos naturais de depuração das águas, em sua percolação pelo subsolo, sendo que, nesse percurso, são removidos microrganismos, partículas e substâncias químicas. Trata-se de processo que tinha emprego privilegiado no tratamento de água no Brasil, desde o início do século até a década de 60, e passou a ser desprezado a partir dos anos 70. Duas pressões colaboraram com essa mudança: o processo de substituição tecnológica, determinado pela influência, sobretudo da cultura técnica norte-americana e a acelerada deterioração da qualidade das águas dos mananciais, resultado da opção de desenvolvimento econômico baseado no modelo urbano industrial, sem a preocupação de assegurar sua sustentabilidade sócio-ambiental (PROSAB, 1999)

Os filtros lentos operam com taxas de filtração relativamente baixas (0,1 a 0,2 m/h) com espessura de leito em torno de 0,7m e tamanho efetivo dos grãos de areia entre 0,2 e 0,3 mm. A penetração do material suspenso ocorre na superfície da camada filtrante até 40 cm de profundidade, mas é no topo da camada de areia que se desenvolve uma camada biológica. O crescimento desta camada biológica aumenta a remoção de partículas menores e proporciona remoção de matéria orgânica e inorgânica. A retenção de organismos e de outros contaminantes responsáveis pela formação do "schmutzdecke" no topo da camada de areia pode levar dias e até semanas. (VARESCHE, 1989; AGGIO, 1993). Carreiras de filtração, em torno de 30 a 90 dias podem ser conseguidas até que seja

atingida perda de carga em torno de 1,0 a 1,5 m. A comunidade biótica presente na camada biológica da filtração lenta é bastante diversificada, constituída de algas, bactérias, protozoários, rotíferos e metazoários. As algas são principalmente as diatomáceas, cianofíceas, clorofíceas e euglenofíceas, e se encontram no sobrenadante, aderidas à superfície do leito ou a camada biológica, e no interior do leito de areia. As bactérias oxidam e degradam a matéria orgânica por meio de sua atividade metabólica e auxiliam na formação da camada biológica. Os protozoários e rotíferos são importantes na estabilidade biológica do efluente, através da remoção de bactérias. Os metazoários compreendem os rotíferos, microcrustáceos e nematódeos. A remoção de bactérias patogênicas e vírus no filtro lento é atribuída a vários fatores, destacando-se: o decaimento natural, por ser o filtro um ambiente relativamente hostil para esses microrganismos, a predação, o efeito biocida da radiação solar e a adsorção no biofilme aderido ao meio filtrante (HESPANHOL, 1987; HAARHOFF & CLEASBY, 1991).

O desempenho dos filtros lentos na remoção de microrganismos depende da taxa de filtração (a remoção diminui com o aumento da taxa), da temperatura (menores temperaturas resultam em menores reduções), da espessura do meio filtrante (o meio mais espesso tende a ser mais eficiente), do tamanho dos grãos de areia (maior granulometria resulta em menor remoção), da idade da "Shmutzdecke" e da maturidade biológica do meio filtrante. Apesar da filtração lenta caracterizar-se como uma eficiente barreira microbiológica, é imprescindível a desinfecção contínua do efluente do filtro lento para garantir os residuais na rede de distribuição (PROSAB, 1999).

Embora a filtração lenta seja um processo capaz de melhorar a qualidade física, química e bacteriológica de uma água, a sua utilização, como na maioria dos processos de tratamento, é limitada pela qualidade da água bruta afluente ao filtro e sua utilização fica restrita a águas que apresentam valores de cor verdadeira, turbidez e teor de sólidos suspensos relativamente baixos (DI BERNARDO, 1993). Outras limitações da filtração lenta que podem ser apontadas são: remoção baixa de minerais complexados, matéria orgânica (substâncias húmicas) e micropoluentes (LANGLAIS et al., 1991). Na Tabela 3.2 estão apresentados alguns critérios de qualidade a que as águas a serem tratadas pela filtração lenta devem atender.

Para a remoção de alguns agroquímicos como mercoprop e MCPA (4-Cloro-2methyl-phenoxyacetic acid), a filtração lenta tem se mostrado efetiva, chegando a atingir a remoção de 100 por cento, para concentrações iniciais de 1,0 µg/L, mas a mesma eficiência não foi observada com relação à atrazina (LAMBERT & GRAHAM, 1995).

Apesar das limitações da filtração lenta, o processo não tem sido abandonado, mas a sua aplicação tem sido associada principalmente a: pré-tratamento, para reduzir conteúdo algal e turbidez; pré-oxidação, para aumentar a remoção de micropoluentes, principalmente, a

ozonização; introdução de uma subcamada intermediária de carvão ativado granular, e etapa final de tratamento. . A filtração lenta tem sido utilizada como etapa final de tratamento em muitos países europeus com o objetivo de garantir a estabilidade biológica e reduzir o conteúdo de subprodutos da desinfecção.

3.2.1 Pré-filtração

A tecnologia da Filtração em Múltiplas Etapas (FiME) consiste em uma seqüência de tratamento que utiliza o pré-filtro dinâmico de pedregulho, seguido de pré-filtro de pedregulho de escoamento horizontal ou vertical (ascendente ou descendente), como unidades de pré-tratamento, e a filtração lenta, como tratamento biológico e barreira microbiológica. O processo de Filtração em Múltiplas Etapas tem se mostrado capaz de estender a aplicação do processo de filtração lenta, para águas com valores de turbidez de cerca de 100 UT e de coliformes fecais da ordem de 1×10^6 UFC/100 ml, além de serem capazes de absorver picos de até 500 UT (BRANDÃO et al, 1998). MELLO (1998) avaliou a filtração em múltiplas etapas na remoção de algas e verificou a potencialidade de aplicação deste processo no tratamento de águas com elevadas concentrações de algas. VERAS (1999) realizou trabalho experimental em instalação piloto montada na Estação de Tratamento de São Carlos, SP, utilizando água de manancial superficial. A instalação do tipo FiME era constituída de uma seqüência de tratamento incluindo dois pré-filtros dinâmicos em série, seguidos de três linhas distintas de pré-filtro de fluxo ascendente e filtros lentos com leito de areia e carvão ativado e utilização de mantas sintéticas, no topo da camada filtrante. A autora concluiu, principalmente, que é possível reduzir a turbidez da água bruta de valores da ordem de 250 a 300 UT para valores inferiores a 5 UT, o teor de SST de 30 mg/L para valores inferiores a 5,0 mg/L, com a pré-filtração dinâmica operando com taxa de 24 a 48 m/dia, a pré-filtração ascendente em pedregulho com taxa de 8 a 16 m/dia e os filtros lentos com taxa de 3 e 4 m/dia. Nesta mesma instalação, ALMEIDA (2001) pode observar que o filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular apresentou efluente com características melhores para os parâmetros, cor verdadeira e nitrato. Outra conclusão importante foi que apesar do efluente dos filtros lentos não atender o que preconiza a Portaria Nº 1469 de 29 de dezembro de 2000, para o parâmetro turbidez, não significou depreciação da qualidade bacteriológica.

VISSCHER et al. (1996) apresentaram algumas limitações da FiME, tais como: a salinidade; a presença de compostos químicos que podem gerar problemas no tratamento, como resíduos de fungicidas e agroquímicos; escassez de nutrientes e níveis baixos de oxigênio. WOODNEH et al. (1996) estudaram a capacidade de um sistema consistindo de pré-filtro de pedregulho e filtros biológicos com leito de areia, para remover agroquímicos como 2,4-D, MCPA e atrazina. Remoção média de 17 por cento foi observada para 2,4-D e MCPA nos pré-filtros de pedregulho e de 70 a 100 por cento nos filtros biológicos, para uma

concentração no afluente de 3 a 11 $\mu\text{g/L}$, para uma taxa de 0,06 a 12 m/h, com profundidade do leito de 300 a 500 mm. Por outro lado, não ocorreu variação significativa na remoção de atrazina. O comportamento da atrazina, segundo os autores, pode ser explicado pelas características químicas do composto, tais como: baixo coeficiente cinético de biodegradação, facilidade de desorção dos microrganismos e um grau razoável de toxicidade a um grupo de microrganismos. O composto foi aplicado nas concentrações de 3,12 a 4,99 $\mu\text{g/L}$.

Algumas características gerais da água bruta para aplicação da tecnologia de filtração em múltiplas etapas, para diferentes disposições das unidades de pré-tratamento podem ser encontradas na Tabela 3.2.

TABELA 3.2 Características gerais da água bruta em função do arranjo da FiME

Características Água bruta	Filtro Lento	Pré-filtro Dinâmico + Filtro lento	Pré-filtro dinâmico + Pré-filtro pedregulho + Filtro lento
Turbidez (uT)	100%<25	100%<50	100%<200
	95%<10	95%<25	95%<100
Cor Verdadeira (uH)	100%<10	100%<25	100%<25
	95%<5	95%<10	95%<10
Sólidos Suspensos Totais (mg/L)	100%<25	100%<50	100%<200
	95%<10	95%<25	95%<100
Coliformes Totais (NMP/100mL)	100%<1000	100%<10000	100%<20000
	95%<500	95%<5000	95%<10000
<i>Escherichia Coli</i> (NMP/100mL)	100%<500	100%<5000	100%<10000
	95%<250	95%<1000	95%<5000
Ferro total (mg/L)	100%<1,5	100%<3,0	100%<5,0
	95%<1,0	95%<12,0	95%<3,0
Algas (UPA/mL)	100%<500	100%<1500	100%<50000
	95%<250	95%<1000	95%<2500

Fonte: PROSAB (1999).

3.2 Filtração em carvão ativado granular

Quando o manancial abastecedor apresenta contaminação por substâncias dissolvidas em concentrações muito baixas ($\mu\text{g/L}$), o carvão ativado tem sido empregado para alcançar reduções no efluente que se enquadrem dentro dos padrões de potabilidade.

O carvão ativado granular, devido a sua porosidade, área superficial e rugosidade, tem a capacidade de servir como suporte para uma densidade alta de microrganismos, quando comparado com os materiais filtrantes, como areia e antracito (DUSSERT & TRAMPOSCH, 1996). A introdução de uma camada de carvão ativado granular (espessura entre 8 e 15 cm) no leito de areia nos filtros lentos tem sido utilizada com o objetivo de adequar a filtração lenta na remoção de orgânicos (BAUER et al., 1996 e PAGE et al., 1996). PAGE et al. (1996) estudaram a introdução de uma camada de carvão ativado granular no leito de filtro lento de areia durante seis meses e compararam com um filtro lento de camada única de areia. Os autores observaram que: a subcamada de carvão ativado granular não contribuiu para a perda de carga, a redução de matéria orgânica natural (avaliada como COD e CODB) foi superior no filtro com camada intermediária de carvão ativado granular, mas houve decréscimo com o tempo; a adsorção pareceu ser o mecanismo dominante durante este período; a redução de CODB e maior nível de biomassa ocorreu na camada biológica.

Em filtros de carvão ativado granular as substâncias dissolvidas podem ser removidas por adsorção física, processo biológico (biorreação) incluindo nitrificação e diminuição de inorgânicos como amônia (DUSSERT & STONE, 1994). A degradação microbiológica de compostos orgânicos adsorvidos é chamada também de biorregeneração, a qual pode estender a vida útil do carvão ativado. A capacidade de adsorção do carvão ativado serve para concentrar substratos, nutrientes e oxigênio na superfície do carbono o favorece rápida colonização e degradação que é promovida pelo aumento do tempo de contato entre microrganismo e substrato. Esta condição acarreta menor tempo de aclimação de microrganismos e maior remoção no início de operação (DUSSERT & STONE, 1994). Quando existe presença de microrganismos, o processo é identificado como carvão ativado biológico, CAB. Na literatura não foi encontrada referência a uma metodologia proposta para determinar e quantificar a contribuição da adsorção física e do processo biológico na diminuição de matéria orgânica e os processos não são totalmente entendidos. Tem sido aceitável que a atividade biológica no leito de carvão ativado granular proporcione aumento na adsorção de matéria orgânica, pela reabertura de novos sítios de adsorção liberados pela degradação biológica de matéria orgânica, reduzindo a frequência de regeneração e conseqüente diminuição do custo operacional (ECKENFELDER et al., 1972; SAKODA et al., 1996). O que fica claro entre os autores é que o processo de remoção é dependente das características químicas do material a ser removido, dos microrganismos presentes, das características do carvão ativado granular (tamanho de poros, processo de fabricação) e da temperatura (BLANKEN, 1982; XIAOJIAN et al., 1991). Somando-se à adsorção física no carvão ativado e à degradação biológica, alguns pesquisadores incluem o processo de oxidação química e catalítica em carvão ativado granular. A presença de oxigênio molecular pode iniciar reações químicas com o adsorbato e acarretar polimerização ou degradação de moléculas e aumentar a capacidade de adsorção de alguns compostos orgânicos (PROBER et al., 1975; VIDIC e SULDAM, 1991; VANDERLOOP et al., 1997).

Alguns autores têm apresentado discussão sobre a limitação do carvão ativado granular em remover micropoluentes por adsorção após o leito ter recebido uma carga de matéria orgânica. ORLANDINI et al., (1997) definem como BOM todos os compostos orgânicos presentes no afluente ao leito de carvão ativado, juntamente com o composto que se deseja eliminar, geralmente em concentração muito inferior (por exemplo, a atrazina em concentração em $\mu\text{g/L}$). Estes compostos apresentam características de menor adsorbabilidade e baixa difusividade. Este fenômeno é ainda pouco entendido e, para ORLANDINI et al. (1997), a presença de matéria orgânica produz um decréscimo na capacidade de adsorção de micropoluentes e a taxa de transferência de massa no carvão ativado. Os autores realizaram um estudo para verificar a diminuição de atrazina, considerando a presença de matéria orgânica no afluente, em leito de carvão ativado granular com uso anterior e carvão ativado granular virgem. O estudo foi realizado com água do rio Reno pré-tratada com coagulação, floculação, sedimentação e filtração rápida. Para as condições de presença de matéria orgânica no afluente e o leito de carvão ativado em uso, a capacidade de redução de atrazina foi diminuída quando comparada com o leito de carvão ativado granular virgem. O efeito foi mais pronunciado quanto maior foi a duração da carga de orgânicos. A mais rápida redução da capacidade do carvão ativado granular ocorreu pela menor capacidade de adsorção do CAG e menor taxa de transferência de massa para atrazina.

Segundo HOPMAN et al (1998) a presença de MON tem os seguintes efeitos na capacidade de adsorção do CAG:

- A concentração de MON é maior (fator em torno de 1000) que a concentração de pesticida e compete por sítios de adsorção;
- As moléculas de MON causam bloqueio dos poros impedindo o acesso das moléculas de pesticidas nos microporos e ocorre decréscimo na cinética de adsorção pela diminuição dos sítios disponíveis para adsorção;
- A frente de MON move-se mais rapidamente pela camada de carvão ativado granular reduzindo a capacidade de adsorção dos pesticidas que movem-se mais lentamente.

Os autores estudaram alternativas para minimizar os efeitos negativos do acesso de MON ao leito de carvão ativado granular com o objetivo de aumentar a vida útil. As alternativas foram: filtração por membranas (nanofiltração) ou ozonização como pré-tratamento anterior ao leito de carvão ativado granular e filtração em fibra de carvão ativado. A combinação de ozonização e filtração em carvão ativado granular aumentou de 30 a 70 por cento a vida útil do carvão ativado granular para remoção de atrazina.

3.3 Oxidação

3.3.1 Considerações gerais

A oxidação química tem sido utilizada em tratamento de água e tratamento de efluentes industriais e domésticos. A tecnologia é bem estabelecida e tem sido empregada para oxidar contaminantes refratários como substâncias húmicas, fenóis, agroquímicos, solventes clorados, hidrocarbonetos aromáticos, benzeno, tolueno. Os produtos químicos que são normalmente utilizados como oxidantes incluem cloro, dióxido de cloro, peróxido de hidrogênio, permanganato de potássio, oxigênio, ozônio e produtos de decomposição do ozônio, como o radical hidroxila.

O peróxido de hidrogênio é um oxidante forte, com potencial de oxidação, E^0 , igual a +1,76 V. É comercializado na concentração de 30 a 70 por cento. A solução concentrada é altamente tóxica e irritante e deve ser armazenada em recipiente escuro para prevenir sua fotodecomposição. O peróxido de hidrogênio é comumente utilizado em combinação com outros produtos químicos como o Fe (II), Cu (I), com radiação UV e, principalmente, o ozônio, para produzir radicais hidroxila.

O peróxido de hidrogênio quando combinado com água, é parcialmente dissociado em íon hidroperóxido, como segue:

A molécula de peróxido de hidrogênio reage lentamente com ozônio, no entanto o íon hidroperóxido é altamente reativo (TAUBE & BRAY, citados por LANGLAIS et al., 1991).

O ozônio tem sido usado como desinfetante em água de abastecimento, desde 1906, em Nice, na França. O uso da ozonização despertou interesse nos EUA, por volta da década de 70, somente após o conhecimento da formação de halogenados durante a cloração, identificados como risco potencial à saúde humana (RICE et al, 1981). Apesar da aplicação do ozônio como desinfetante ter sido o uso predominante, atualmente, em tratamento de água o ozônio tem sido usado em: oxidação de ferro e manganês; remoção de cor; de gosto e de odor; controle de algas; oxidação de cianetos, de sulfetos e de nitritos; pré-tratamento para processo biológico e oxidação de orgânicos naturais e sintéticos.

3.3.2 Sistema de ozonização

O método de geração do ozônio mais utilizado é efetuado a partir de descargas elétricas entre dois eletrodos separados por placas dielétricas. Outros métodos para geração de ozônio podem ser: geração fotoquímica, geração eletrolítica, geração radioquímica.

O ozônio é pouco solúvel em água e, portanto, a sua aplicação requer distribuição efetiva na fase líquida, e como consequência, o sistema de contato necessita ser configurado não só para um tempo de contato apropriado, mas para uma transferência eficiente da fase gasosa para a fase líquida. A escolha do dispositivo de dissolução e mistura é baseada na qualidade da água e no objetivo de aplicação do ozônio. O difusor de bolhas finas (placa porosa) e unidade de contato compartimentada são os mais utilizados para as mais diversas aplicações (LANGLAIS et al., 1991).

AIETA et al. (1988) estudaram a eficiência de transferência em um reator de fluxo contracorrente com difusor de bolhas, utilizando e não utilizando agitador na unidade de contato, para remoção de tricloroetileno (TCE) e tetracloroetileno (PCE), para um tempo de contato de 2,7 min. A dosagem de ozônio foi de 4 mg/L e a relação H_2O_2/O_3 igual a 0,5. A taxa de remoção de TCE e PCE neste estudo foi independente da cinética de reação e foi controlada somente pela taxa de transferência do ozônio da fase gasosa para a fase líquida. Quando foi utilizado ozônio, a eficiência na sua transferência cresceu com o aumento na concentração do ozônio na fase gasosa. Quando se associou o ozônio com o peróxido de hidrogênio, a eficiência de remoção foi praticamente independente da concentração de ozônio na fase gasosa. Outro aspecto interessante é notar que a utilização de agitador na unidade de contato aumentou a eficiência de transferência do ozônio para a fase gasosa.

BUNCH (1979) comparou três unidades de contato utilizadas comercialmente para desinfecção: o injetor de pressão positiva, uma coluna com recheio e coluna com difusor de bolhas. Os resultados mostraram que o difusor de bolhas finas apresentou uma maior taxa de utilização de ozônio e de diminuição de coliformes totais. A diminuição de coliformes foi independente do tempo de contato, sendo limitada pela transferência de massa. Se o objetivo é a oxidação, as reações são muito rápidas, o tempo de contato pode ser relativamente curto, pois as reações são dependentes da substância a ser oxidada e da dose de ozônio transferida. Normalmente, as colunas são construídas de vidro, acrílico transparente e PVC, com diâmetro variando de 0,1 a 0,3 m e altura entre 4 e 6 metros. Operacionalmente, um sistema piloto de ozonização deve permitir a variação da dose de ozônio, mantendo constante a concentração do ozônio e variando a vazão de gás ou variando a concentração de ozônio e mantendo constante a vazão de gás (LANGLAIS et al., 1991).

O gás residual da coluna de ozonização deve ser monitorado e conhecido sua concentração, que deve ser inferior a 0,1 mg/L para lançamento na atmosfera. Para concentrações superiores, deve ser previsto sistema de destruição do mesmo. LANGLAIS et al. (1991) recomendam os seguintes sistemas de destruição do ozônio: destruição térmica, destruição catalítica, absorção, reação em leito de carvão ativado, reciclagem do residual de gás da coluna de ozonização, para o sistema de geração, diluição e destruição química. O mesmo autor apresenta também uma listagem de dispositivos relacionados com o tamanho

e sofisticação da instalação. Cuidado deve existir com todo o sistema de ozonização com relação à corrosão, principalmente com a presença de ozônio "úmido" (principalmente no difusor e na saída da coluna de contato para o dispositivo de destruição de gás). Uma regra geral é a utilização de aço inoxidável (316L). Para utilização do sistema de ozonização, deve-se prever tempo para adequação operacional principalmente no que diz respeito ao sistema de ar, à quantificação do ozônio nas formas gasosa e líquida, aos equipamentos de medida de ozônio. Alguns autores têm relatado as dificuldades apresentadas para operação contínua do sistema (ALMEIDA, 2001 e RANDALL & ESCOBRAR, 2001).

3.3.2.1 Medida de ozônio

Os pontos de uma instalação de água onde o ozônio, na fase gasosa, deve ser monitorado são: na saída do gerador de ozônio, no gás exaurido da coluna de ozonização e na saída do dispositivo de destruição do ozônio. Segundo LANGLAIS et al. (1991), os métodos de medida de ozônio mais utilizados são: Métodos Iodométricos, Análise Amperométrica Direta, Medida direta de Absorção em UV e Colorimetria. O método de medida em UV é o mais utilizado na Europa para medida do ozônio na fase gasosa.

A medida de ozônio dissolvido está sujeita a muitas interferências. Os reagentes utilizados para determinação do ozônio são freqüentemente oxidados pelo ozônio; esses mesmos reagentes podem também ser oxidados por muitos produtos de decomposição da oxidação do próprio ozônio, e ainda, muitas impurezas encontradas na água são oxidadas pelo ozônio para produzir oxidantes capazes de reagir com o ozônio. Devido à presença destes oxidantes secundários, muitos métodos analíticos para quantificação de ozônio medem a totalidade dos oxidantes presentes. Os métodos atualmente utilizados para medida de ozônio dissolvido são: Método Índigo (método colorimétrico), Método Iodométrico, Dispositivos eletroquímicos e outros colorimétricos. LANGLAIS et al. (1991) descreveram estes métodos, bem como as limitações de cada um. Segundo os autores, o método mais indicado em tratamento de água para medida do ozônio dissolvido seria o Método Índigo, mas o método mais utilizado é o Método Iodométrico, sendo aceito pela Associação Internacional de Ozônio na Europa.

3.3.3 Rota de reação do ozônio

Para o entendimento da química de decomposição do ozônio em água, dois principais esquemas de reação foram propostos: a reação direta do ozônio, chamada de rota molecular e a reação envolvendo os produtos radiculares da decomposição do ozônio, chamada de rota radicalar (HOIGNÉ & BADER, 1983). No primeiro mecanismo, a oxidação de compostos pelo ozônio molecular, envolve reações que são seletivas (taxa constante (k), da ordem de $10^3 \text{ M}^{-1}\text{s}^{-1}$) e relativamente lentas (alguns minutos) comparadas com reações envolvendo radicais livres. Na ausência da decomposição do ozônio, a concentração de

ozônio pode permanecer relativamente constante por um intervalo de tempo pequeno (medido em minutos). Segundo LANGLAIS et al (1991), a reação molecular do ozônio é extremamente seletiva e limitada aos aromáticos insaturados e compostos alifáticos bem como para grupos funcionais específicos.

O mecanismo de Hoigné, Staehelin e Bader, para decomposição do ozônio ocorre num processo em cadeia que pode ser representado pelas seguintes equações (HOIGNÉ & BADER, 1983);

Ozônio reage com compostos aromáticos, compostos orgânicos insaturados (por exemplo, $C=C$; $C=O$, $C=S$, $=N-H$ e amino compostos $-NH_2$), acarretando à formação de compostos policarbonáceos saturados, metil cetonas, diácidos, dialdeídos, aldeídos e ácidos. O ozônio possui também a habilidade de oxidar diversos compostos orgânicos influenciando na remoção de cor, odor, gosto (LANGLAIS et al, 1991; RANDALL & ESCOBRAR, 2001).

Alguns agentes, chamados de iniciantes, como o peróxido de hidrogênio, radical hidroxila, íons hidroperóxido, ácido fórmico, substâncias húmicas, luz ultravioleta, quando presentes podem acelerar a formação de radical hidroxila e têm sido adicionados intencionalmente, por apresentarem a vantagem de grande reatividade para a oxidação de muitos contaminantes que são resistentes à oxidação com ozônio (SLATER et al, 1985; AIETA et al., 1988 e RICHARD et al., 1991). Componentes de águas naturais especialmente íons carbonatos e bicarbonatos e material orgânico, podem atuar consumindo radicais OH e promovendo a rota molecular.

O segundo mecanismo é o de oxidação de compostos pelos produtos de decomposição do ozônio, principalmente pelo radical hidroxila. Este radical é altamente reativo com compostos orgânicos (k da ordem de 10^8 a $10^{10} M^{-1}s^{-1}$) e vida curta, de somente alguns microssegundos em água (BIERK et al, 1996).

3.3.4 Geração de radical hidroxila

O radical hidroxila pode ser gerado utilizando-se: Ozônio/H₂O₂, Ozônio/UV, Ozônio/H₂O₂ UV, H₂O₂/UV, H₂O₂/Fe(II). O radical hidroxila é menos seletivo que o ozônio molecular e tem potencial de oxidação E⁰ igual a +3,06 V, maior que o do ozônio e irá oxidar muitos compostos que não reagem ou só reagem muito lentamente com o ozônio.

O processo baseado na geração dos radicais hidroxila foi originalmente desenvolvido para oxidação de compostos orgânicos sintéticos em águas residuárias e tem sido aplicado com sucesso no tratamento de águas de abastecimento (FERGUSON et al, 1991; DUGUET et al., 1992; SUNDER & HEMPEL, 1997). Esse processo tem sido referido como processo avançado de oxidação.

O mecanismo de reações do radical hidroxila com produtos químicos orgânicos são complexos e a oxidação pode ocorrer por três caminhos: a retirada de hidrogênio de um grupo -CH₂, adição de radical e transferência de elétrons. Os radicais secundários, formados durante estas reações, podem reagir com ozônio adicional, com um outro radical, ou com outros compostos. Organoperóxidos podem ser formados pela reação do radical carbonil (C.) com oxigênio presente. Esses compostos podem entrar em uma cadeia de reações envolvendo ozônio e radical hidroxila, resultando na formação de novos radicais ou superóxidos. (MASTEN & DAVIES, 1997).

Segundo AIETA et al (1988), a estequiometria esperada, para a formação de radicais OH, pode ser expressa como:

O esquema de reação apresentado mostra uma relação molar de 0,5, ou uma relação de peso de 0,35 de H₂O₂ para O₃. Alguns fatores podem influenciar nesta relação. Primeiro, o H₂O₂ pode atuar como consumidor, decrescendo a concentração de radicais OH. Segundo, o O₃ pode reagir diretamente com os radicais OH e, finalmente, O₃ e OH podem ser consumidos por constituintes na água. Em resumo, a relação ótima de H₂O₂ para O₃ é dependente do sistema de ozonização e da qualidade da água.

O ponto de aplicação, quando a oxidação é feita somente com ozônio, varia de acordo com o objetivo do tratamento. Segundo RICE (1990) e EIGER et al. (1998), quando o objetivo é a remoção de refratários tais como agroquímicos, a aplicação do ozônio deve ser feita, antes da filtração, em uma estação de tratamento de ciclo completo. O ponto de adição do peróxido de hidrogênio ainda é um ponto controverso entre os autores consultados. Segundo LANGLAIS et al. (1991), o melhor ponto parece ser o ponto no qual o ozônio sozinho já oxidou as moléculas mais reativas, explorando a seletividade do ozônio, convertendo depois o processo para a via radicalar oxidando as moléculas mais refratárias.

3.3.5 Oxidação de atrazina e matéria orgânica

Em geral a reação do ozônio com matéria orgânica natural promove a destruição da molécula original, formando um produto polar mais biodegradável, com peso molecular mais baixo. Um grande número de compostos pode ser produzido, incluindo peróxidos, aldeídos. Um grande número de compostos pode ser produzido, incluindo aldeídos (formaldeídos, acetaldeídos, glioxal, metilglioxal), ácidos orgânicos, ácidos carboxílicos (fórmico, acético, oxálico, pirúvico e ácidos cetomalonícos) peróxido de hidrogênio e a formação e bromato e compostos orgânicos brominados se ocorrer a presença de brometos (CAMEL & BERMOND, 1998; LANGLAIS et al. 1991; ACERO E GUNTEN VON, 2001)., ácidos orgânicos e peróxido de hidrogênio (LANGLAIS et al. 1991). A oxidação de matéria orgânica acarreta: decréscimo no conteúdo de carbono orgânico dissolvido (devido à oxidação a dióxido de carbono); decréscimo na matéria orgânica que absorve luz ultravioleta no comprimento de onda 254 nm; aumento no conteúdo de carbono orgânico assimilável e aumento na contagem de bactérias heterotróficas e aumento na atividade biológica (DUSSERT & STONE, 1994; RANDALL & ESCOBAR, 2001). Formaldeídos e acetaldeídos, formados a partir da ozonização de matéria orgânica natural, os quais são relativamente voláteis, têm produzido tumores nas vias respiratórias em animais (formaldeídos têm produzido tumores em humanos) após exposição por inalação. No caso de ingestão de formaldeído, bioensaios têm produzido resultados conflitantes e o glyoxal tem mostrado promover tumores no estômago. Por outro lado, nenhum efeito toxicológico adverso tem sido observado para concentrações de ácidos carboxílicos produzidos em tratamento de água por ozonização (KRASNER et al., 1993). A ingestão de água ozonizada, normalmente, não apresenta riscos à saúde humana, devido à curta meia-vida do ozônio em solução (165 min a 20 °C). Como, na maioria das instalações, a ozonização é seguida de cloração ou armazenamento em reservatório anterior a distribuição, existe tempo suficiente para que a decomposição do ozônio seja completa (RICE et al., 1981). Com relação a concentração de peróxido de hidrogênio em padrões de potabilidade não foi encontrado referencia na literatura consultada. O ministério da Saúde da França propõe que a concentração em águas de para consumo humano deve ser inferior a 0,5 mg/L (URFER & HUCK, 1997).

A oxidação de matéria orgânica resulta também em eliminação de microrganismos. A inativação de microrganismos é dependente da taxa de reação entre o oxidante e os diferentes tipos de microrganismos, sendo influenciada pelas condições ambientais e presença de substâncias que podem interferir na reação. FAROOQ et al. (1978) estudaram a diminuição de microrganismos em água de manancial superficial seguida de filtração. A dosagem variou de 0,5 a 3,0 mg/L e o tempo de contato de 5 a 10 minutos, para diminuição total dos microrganismos. Na desinfecção, a dose de ozônio deve ser suficiente para satisfazer as reações com espécies orgânicas e inorgânicas que são mais rápidas que as reações com microrganismos. Uma vez que a demanda inicial de ozônio é satisfeita, a reação de desinfecção com bactéria coliforme se processa rapidamente (LANGLAIS et al., 1991).

A literatura é consistente em relação à habilidade do ozônio em aumentar a biodegradabilidade dos compostos orgânicos presentes na água e promover atividade biológica em vários meios e, muitas vezes, o ozônio é precedido ao processo de filtração, com o objetivo de aumentar a remoção de compostos orgânicos refratários. Por outro lado a filtração biológica (filtração lenta e carvão ativado granular) após o processo de ozonização promove a redução dos aldeídos e ácidos carboxílicos formados no processo de oxidação. MALLEY et al., 1994 encontrou formaldeídos (25 µg/L), acetaldeído (4 µg/L) e glioxal (11 µg/L) para dose de ozônio de 2,0 mg O₃/mgCOD que foram reduzidos abaixo do limite de detecção em filtro lento de areia. As condições que definem a biodegradação não estão ainda bem definidas e a porcentagem de remoção do carbono orgânico total não pode ser pré-determinada, por ser altamente dependente da qualidade da matéria orgânica presente. Em geral, parece que a máxima atividade biológica corresponde à relação de 1-2 mg O₃/mgCOT e à relação de 0,5 a 1,0 mg O₃/mgCOD (CARLSON et al., 1996; RACHWAL & BAUER, 1988; SINGER, 1990; BOOTH et al., 1996; BRINK & PARKS, 1996; CABLE & JONES, 1996; ODEGAARD, 1996; RANDALL & ESCOBAR, 2001).

Os agroquímicos orgânicos clorados são lentamente e parcialmente destruídos por oxidação direta. Comparados com outros compostos nitrogenados heterocíclicos, a atrazina não é muito reativa. A ozonização de atrazina é um processo que a pH neutro se desenvolve principalmente por reações radicalares, mas o processo é dependente da presença de impurezas na água (MON, carbonatos e bicarbonatos) que podem promover a decomposição do ozônio e promover radicais intermediários capazes de liberar íons superóxidos e radicais hidroxila ou dependendo da concentração estas mesmas impurezas podem atuar como inibidores da reação radicalar. A reação entre ozônio e atrazina é uma reação complexa constituída por uma quantidade de reações paralelas, sendo que a mais importante conduz à formação de deetilatraxina e deisopropilatraxina. As tecnologias de processos avançados de oxidação (PAOs), envolvem a geração de radicais altamente reativos, particularmente o radical hidroxila (OH[•]), parece ser o melhor para remoção não só

de atrazina, mas também os subprodutos de degradação com baixo custo (BELTRAN et al., 1998; ACERO et al., 2000). Os autores estudaram os processos de oxidação com O_3 e H_2O_2/O_3 para remoção de atrazina em água (em laboratório) e encontraram que o sistema de oxidação H_2O_2/O_3 (reação radicalar) remove atrazina e seus principais subprodutos de degradação deetilatrazina e deisopropilatrazina com maior eficiência quando comparado com a reação do ozônio pela via molecular. A eficiência de remoção depende da dose de peróxido de hidrogênio.

FOSTER et al. (1991) estudaram águas naturais em instalação piloto e encontraram 30 a 50 por cento de remoção de atrazina com dose de ozônio de 2,0 mg/L e 5 minutos de tempo de contato. Os mesmos autores mencionam também que remoção em torno de 80 a 90 por cento foi conseguida, para tempo de contato entre 2 e 10 minutos, doses de ozônio de 1 a 5 mg/L e doses de peróxido de hidrogênio de 0,5 a 2,0 mg/L. A concentração inicial de atrazina não é mencionada. Uma via para a ozonização de atrazina (para dosagem de atrazina máxima de 15 $\mu\text{g/L}$) é apresentada por ADAMS & RANDTKE (1992), na Figura 3.3. Os subprodutos atrazina desetil (atrazina desetil), atrazina desisopropil (atrazina desisopropil), CAAT (2-Cloro-4,6-diamino-s-triazina), CDAT (Deisopropilatrazina amida) apareceram sob condições que inibiram a autodecomposição do ozônio (pH baixo, e alcalinidade alta). Sob condições que favoreceram a produção do radical hidroxila do ozônio (pH alto, alcalinidade baixa, ou a presença de peróxido de hidrogênio), reações adicionais incluíram a hidrólise da ligação C-Cl para formar hidróxidos análogos, como, OIET (Hydroxyatrazina), OEAT (2-Amino-4-ethylamino-6-hydroxy-s-triazina) e OIAT (atrazina desetil-2-hidroxi). Além destes, outros produtos podem ter sido formados e não detectados pelo método analítico utilizado (HPLC).

A associação de peróxido de hidrogênio pode ser uma alternativa interessante para diminuição de atrazina, uma vez que a oxidação da atrazina por ozônio se faz pela via radicalar (RICHARD et al, 1991; BELTRAN et al., 1994). PAILLARD et al., citados por LANGLAIS et al. (1991), estudaram a eliminação de atrazina em água filtrada do rio Sena e encontraram maior degradação deste agroquímico quando a relação peróxido de hidrogênio/ozônio foi de 0,35 a 0,45 g/g, quando comparado com o uso do ozônio. Resultados semelhantes foram encontrados por RICHARD et al (1991) em águas naturais. Quando foi utilizado ozônio para oxidação de atrazina foi possível a diminuição de 370 para 200 $\mu\text{g/L}$ (46 por cento). A associação de peróxido de hidrogênio, injetado na entrada da coluna de ozonização, favoreceu a oxidação radicalar e foi possível a diminuição em 75 por cento de atrazina para uma dose de ozônio de 2,0 mg/L e uma relação de H_2O_2/O_3 igual a 0,4. A mesma combinação de processos com ozônio e peróxido de hidrogênio foi estudada por SEGUE, citado por LANGLAIS et al (1991), para diminuição de absorvância a 254 nm, em água de lago Cholet na França, com as concentrações de 0,24 a 0,47 mg/L de peróxido

de hidrogênio e a dose de 20 mg/L de ozônio, reduzindo a absorvância a níveis próximo de zero.

FIGURA 3.2 Vias de oxidação da atrazina – (ADAMS & RANDTKE 1992)

LAMBERT et al. (1996) estudaram a redução de atrazina (adicionada na concentração de 2 µg/L) por ozonização e pela aplicação de ozônio e peróxido de hidrogênio. A remoção de atrazina por ozônio para dose consumida de 1,0; 2,0 e 3,1 mg/L foi de 35 por cento, 48 por cento e 70 por cento respectivamente. Foram estudadas as relações H_2O_2/O_3 igual a 0,1; 0,2; 0,4 e 0,6; 0,8 e 1,0 para as doses de ozônio consumida de 1,0; 2,0 e 3,1 mg/L. Os autores encontraram aumento na redução de atrazina para a maior relação (1,0) quando comparado com a utilização de ozônio. A redução adicional para atrazina com a adição de peróxido de hidrogênio foi de 7 por cento; 33 por cento e 20 por cento para dose de ozônio aplicada de 1,0; 2,0 e 3,1 respectivamente. Os autores atribuem a pouca diferença na redução entre os dois processos à presença de matéria orgânica natural (COT igual a 6,3 mg/L) na água.

VON GUNTEN & ACERO (2001) compararam a degradação de atrazina utilizando ozônio em ausência e presença de peróxido de hidrogênio, em água superficial e em água de manancial subterrâneo (1,0 mg/L O_3 ; pH igual a 7; Temperatura de 11,0 °C). Para água de manancial subterrâneo (baixo conteúdo de carbono orgânico e alcalinidade alta), o ozônio foi bastante estável durante a adição de H_2O_2 (na relação 0,34 g H_2O_2 /g O_3) acelerou significativamente a decomposição do ozônio. Foi observado que 7 por cento de degradação

ocorreu pela rota molecular e 93 por cento pela rota radicalar. Em água superficial, foi observado comportamento diferente, pois o O_3 foi menos estável, principalmente devido à promoção pela matéria orgânica natural que resultou em aceleração da decomposição do ozônio e a adição de H_2O_2 só produziu uma pequena diferença quando comparado com a oxidação com ozônio. Os autores concluíram que o valor ótimo depende da contribuição relativa dos iniciantes e promotores presentes e deve ser determinado experimentalmente para cada água bruta.

URFER & HUCK (1997) estudaram o efeito do peróxido de hidrogênio em filtros biológicos com leite misto de areia e antracito. Os resultados mostraram que a presença de peróxido de hidrogênio na concentração de 1,0 mg/L, não inibiu a diminuição biológica dos íons formato e acetato.

A oxidação da atrazina por ozônio, pelo radical hidroxila e por fotocatalise não promove a mineralização ou rompimento do anel de triazina (RICHARD et al, 1991; BELTRAN et al., 1994; LAMBERT et al. 1996; CAMEL & BERMOND, 1998; BELTRAN et al, 1988; ACERO et al., 2000). O anel de triazina pode ser bioquimicamente oxidado por certas cepas de microrganismos, acarretando à completa mineralização (ADAMS & RANDTKE, 1992; HUANG & BANKS et al., 1996).

Segundo FOSTER et al. (1991), a oxidação da atrazina pelo ozônio não reduz o efluente ozonizado a níveis que eliminem o tratamento subsequente de adsorção por carvão ativado granular. A pré-ozonização apresenta alguns benefícios para o processo de tratamento de água como: excelente desinfecção sem a formação de THMs ou HAAs, microfloculação, diminuição de cor, de gosto e odor e aumento da atividade biológica (DUSSERT & STONE, 1994).

3.3.6 Pre-ozonização e filtração lenta

A ozonização proporciona aumento na remoção de cor nos filtros lentos, pelo aumento da matéria orgânica biodegradável (MILTNER et al, 1992 e YORDANOV et al, 1996; ODEGAARD, 1996), diminuição no crescimento de algas no sobrenadante dos filtros, sem o decaimento da atividade biológica (RACHWALL et al., 1985) e remoção de agroquímicos como atrazina, simazina, diuron e isopruton (BAUER et al, 1996).

RACHWAL et al. (1988) estudaram o desempenho da filtração lenta (taxa de 0,25 m/h), precedida de ozonização (dosagens variando de 1 a 5 mg/L), tendo como afluente água filtrada rio Tâmbisa (filtração rápida em areia sem coagulante e taxa de 6 m/h). O principal efeito da pré-ozonização foi redução de absorvância no comprimento de onda de 254 nm (70 por cento) e no de 400 nm (90 por cento) comparados com redução de 15 e 25 por cento respectivamente para o efluente do filtro lento de areia sem a utilização da pré-ozonização. Análises de cromatografia gasosa-espectrometria de massa mostraram grande

aumento de aldeídos alifáticos, cetonas e ácidos após a ozonização os quais estiveram ausentes ou foram bem reduzidos após a filtração lenta. A medida de adenosina trifosfato (ATP) mostrou que a ozonização aumentou o valor de ATP (indicando aumento na biodegradabilidade) e sendo reduzido a valores semelhantes ao filtro lento que não recebeu afluente ozonizado. Os autores neste estudo chegaram à conclusão que, durante períodos de alta atividade algal, a pré-ozonização aumentou a carreira do filtro lento de 60 para 90 dias. Doses superiores a 5mg/L não aumentaram a eficiência na remoção de carbono orgânico dissolvido, havendo aumento da biodegradabilidade (medido em ATP). Apesar do aumento nas carreiras de filtração, a pré-ozonização não proporcionou um aumento na penetração na camada de areia. Resultados semelhantes foram obtidos por GREAVES et al. (1988) com relação a dosagem de ozônio, aumento na carreira de filtração e remoção de COT, para taxa de filtração de 0,1 m/h, utilizando-se água de reservatório. O objetivo dos autores foi avaliar a remoção de cor verdadeira a limites inferiores a 20 uH, o que foi possível com eficiência de 70 por cento. A pré-ozonização não aumentou a eficiência do processo com relação à remoção de turbidez e manganês, mas foi observada diminuição no conteúdo de ferro.

ODEGAARD (1996) estudou a remoção de cor, demanda química de oxigênio e carbono orgânico total na filtração lenta ($v=0,2$ m/h) precedida de pré-ozonização (dose de ozônio igual a 7 mg/L) e filtração lenta sem a utilização de pré-oxidação em instalação piloto. Na ozonização a redução de cor foi em média igual a 85 por cento para valores no afluente de 48,6 (mgPt/L). No filtro lento precedido de pré-oxidação a redução para cor foi de 21 por cento para COT e 66 por cento para cor verdadeira. No filtro lento não precedido de pré-ozonização não houve redução para cor e a redução para COT foi de 10 por cento.

A variação na camada biológica no filtro lento de areia, recebendo água ozonizada foi estudada por YORDANOV et al. (1996). A dose de ozônio utilizada (7 a 18 mg/L) dependeu da cor da água bruta (9 a 74 uH) e foi ajustada para residual de ozônio igual a zero no afluente aos filtros lentos. A cor, após a água ozonizada, apresentou sempre valores inferiores a 20 uH e o conteúdo de COT foi reduzido de 9 por cento após a ozonização e 28 por cento, após a filtração lenta para a relação O_3/COT inferior a 0,5. Os autores observaram diminuição na carreira de filtração da água ozonizada, diferentemente dos resultados obtidos por RACHWAL et al. (1985) e GREAVES et al. (1988). Os resultados mostraram que a ozonização teve efeito considerável na densidade de bactérias e em toda biomassa (medida em proteína), na superfície dos filtros, com contagem elevada de bactérias heterotróficas. O valor de unidades formadoras de colônia, UFC, foi similar ao filtro de referência, medido a 10 cm de profundidade, mas foi 4 a 5 vezes menor quando medido na superfície. Segundo os autores o tamanho da carreira pode ser influenciado pela idade da areia usada e o rápido crescimento da perda de carga pode ser resultado da variação na relação O_3/COD .

A redução de cor é resultado da ozonização direta com uma demanda típica que varia entre 7 e 14 uH por mgO_3/L (GRAHAM, 1999). A Tabela 3.3 apresenta valores típicos de eficiência por pré-ozonização e filtração lenta. A remoção de COD no processo de ozonização e filtração lenta tem sido encontrada entre 20 e 30 por cento para dose de ozônio na faixa de 0,2 a 1,0 $\text{mgO}_3/\text{mgTOC}$. A redução aumenta com aumento na dose de ozônio. A Tabela 3.4 apresenta valores para redução de COD encontrados pelo processo de ozonização e filtração lenta. Alguns pesquisadores encontraram alteração na camada biológica dos filtros lentos e conseqüentes alterações no comportamento da perda de carga quando o afluente é ozonizado. A Tabela 3.5 apresenta os resultados considerando o efeito da ozonização na carreira de filtração.

TABELA 3.3 Remoção de cor pela pré-ozonização e filtração lenta

Fonte	Cor (uH)	Dose O_3 (mg/L)	Remoção (%)	Referencia
Lago Vyrnmy, UK	15-29	2,5-3,5	74	GREAVES et al., 1984
Lago Vyrnmy, UK	10-35	1,1-2,5	52	CABLE & JONES, 1996
Rio Dee, UK	9-74	0,5 (*)	58	YORDANOV et al., 1996
Água Laboratório	48(**)	6,7	67-82	ODEGAARD, 1996

(*) $\text{mgO}_3/\text{mgTOC}$; (**) mg/L Pt/L

TABELA 3.4 Remoção de COD pela pré-ozonização e filtração lenta

Fonte	COD (mg/L)	Dose O_3 (mg/L)	Remoção (%)	Referencia
Água laboratório	4,0-5,0	6,7	34-40	ODEGAARD, 1996
Lago Vyrnmy, UK	2,4-4,8 (*)	1,1-2,5	26,5	CABLE & JONES, 1996
Rio Dee, UK	3,0-7,9	0,5 (**)	28	YORDANOV et al., 1996
Água laboratório	3,3	0,1-1,0 (***)	22-36	DEMPSEY & FU, 1994
Portsmouth, USA	7,6-8,2	0,5-1,0 (***)	20-35	MALLEY et al., 1994
Rio Thames, UK				

(*) TOC; (**) $\text{mgO}_3/\text{mgTOC}$; (***) $\text{mgO}_3/\text{mgCOD}$

TABELA 3.5 Efeito da pré-ozonização na duração da carreira da filtração lenta

Fonte	Dose O_3 (mg/L)	Efeito na duração da carreira de filtração	Referencia
Lago Vyrnmy, UK	2,5-3,5	Redução	GREAVES et al., 1984
Lago Vyrnmy, UK	1,1-2,5	Aumento inverno/redução verão	CABLE & JONES, 1996
Rio Dee, UK	0,5 (*)	Redução/inverno	YORDANOV et al., 1996
Água laboratório	0,1-1,0 (***)	Sem efeito	DEMPSEY & FU, 1994
Portsmouth, USA	0,5-1,0 (***)	Redução	MALLEY et al., 1994

3.3.7 Pré-ozonização e carvão ativado granular

Ozonização de matéria orgânica natural conduz a compostos com baixo peso molecular que devem ser mais bem absorvidos pelo carvão ativado granular (ODEGGARD, 1996 ?), no

entanto a polaridade dos compostos orgânicos é aumentada e resulta em decréscimo da adsorbabilidade. A biodegradabilidade que ocorre no carvão ativado granular proporcionada pela combinação de O_3 /CAG compensa a perda de adsorbabilidade do COD resultando da oxidação da matéria orgânica (CAMEL & BERMOND, 1998)

A ozonização acarreta formação de compostos mais biodegradáveis que podem proporcionar um recrescimento de microrganismos no sistema de distribuição. A remoção desses compostos biodegradáveis em leito de carvão ativado granular permite o controle do recrescimento biológico no sistema de distribuição, estabilidade no residual de cloro e diminuição dos subprodutos da ozonização, como aldeídos, que podem estar incluídos em legislações futuras. A atividade biológica no carvão ativado granular pode aumentar a capacidade de adsorção para compostos não-biodegradáveis ou de baixa degradabilidade, pela eliminação biológica de substâncias que competem por sítios de adsorção (DUSSERT & STONE, 1994).

A combinação de ozonização e filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular tem sido denominada de processo de carvão ativado biológico.

A ozonização pode ser utilizada também para reduzir a competitividade da MON e pesticidas nos sítios do carvão ativado granular (ORLANDINI et al., 1997 e HOPMAN et al. 1998). HOPMAN et al. 1998 apresentaram as seguintes vantagens para uso do ozônio antes do leito de carvão ativado granular:

- Parte da MON torna-se mais assimilável ocorrendo aumento da capacidade de biodegradação de MON e pesticidas e conseqüentemente menor competição e menos poros bloqueados;
- As moléculas de MON tornam-se mais polar ocorrendo menos competição e adsorção no carvão ativado granular;
- As moléculas tornam-se menores e conseqüentemente decresce o número de poros bloqueados.

Resultados interessantes foram encontrados por ORLANDINI et al., 1997 (para dose de ozônio de 1,3 mg/L) e HOPMAN et al. 1998 (1,4 mg/L e COT igual a 2,0 mg/L) para redução de atrazina em carvão ativado que recebeu afluente ozonizado por um período quando comparado com leito de carvão ativado que recebeu afluente não-ozonizado. O filtro que recebeu afluente ozonizado teve maior capacidade para adsorção de atrazina e maior taxa de transferência de massa aumentado a vida útil do carvão ativado granular.

A ozonização seguida da filtração biológica com carvão ativado granular pode aumentar entre 15 a 20 por cento a remoção de COT, quando comparado ao leito de carvão ativado granular somente (SINGER, 1990). DUGUET & MALLEVIALLE (1988) compararam na Estação de Tratamento de Mont Valérien (França) unidades de filtração lenta (taxa de 0,625

m/h) com leito de areia e leito de areia e carvão ativado granular na remoção de orgânicos. As unidades eram precedidas de coagulação, clarificação, filtração rápida e ozonização (as dosagens não são mencionadas). Os autores observaram remoção de 10 por cento de TOC no filtro lento de areia e remoção de 25 por cento no filtro com camada intermediária de carvão ativado granular. A ozonização reduziu somente 5 por cento do valor de TOC. No filtro lento de areia ocorreu redução maior quando o afluente era ozonizado e no filtro lento com camada de carvão ativado granular quando para o afluente ozonizado a remoção de TOC era menor. Os autores observaram também maior número de bactérias no leito de carvão ativado granular, mas não afirmaram que esta condição justifica maior redução no conteúdo de COT.

A ozonização precedida ao filtro de areia e antracito, para remover material floculado, e após filtro de carvão ativado foi incorporado nas estações de Rouen-la-Chapelle e Dohne na França. Uma condição interessante, observada nestas estações, foi o aumento da vida útil do carvão ativado por apresentar uma regeneração parcial com respeito ao material orgânico biodegradável. Estas estações estavam em operação de 1977 a 1981 sem que houvesse necessidade de regeneração, e a qualidade da água melhorou sem que houvesse aumento no custo de tratamento, uma vez que houve diminuição no uso de produtos químicos. Na estação de Dohne, a vida útil do carvão ativado aumentou de 3 a 5 vezes após a introdução da ozonização (RICE et al., 1981). A filtração biológica para remoção de aldeídos formados durante a ozonização foi estudada por KRASNER et al. (1993) em estação piloto. Foram utilizados leitos de antracito e areia (com tempos de contato de 1,4; 2,1 e 4,2 min), leitos de carvão ativado limpo e areia (com tempo de contato de 1,4 min) e leitos de areia e carvão ativado com uso de três anos (com tempo de contato de 1,4 e 4,2 min). Os filtros com CAG usado desenvolveram atividade biológica com tempo inferior aos outros meios testados, foram mais eficientes na remoção do glicoxal, que foi o subproduto analisado mais resistente, e absorveram melhor as variações ocorridas no afluente. A superioridade apresentada pelo efluente do filtro com carvão ativado granular, em comparação com o efluente do filtro com meio filtrante de areia, pode ser atribuída às características físicas do carvão ativado que são mais propícias ao crescimento das bactérias (HUCK et al. 1989; DUSSERT & STONE, 1994). A eliminação de partículas pequenas do carvão ativado granular pode proteger microrganismos da desinfecção, sendo recomendável uma camada suporte de areia para a camada de carvão ativado granular. A ozonização pode influenciar na concentração de material facilmente biodegradável. KLINTINA et al. (1989), citados por LANGLAIS et al. (1991), utilizaram o ozônio (doses de 8 a 13 mg/L) seguido de filtração em carvão ativado (taxas de 5-10 m/h) para remoção de cor. A cor foi removida de 20 a 60 por cento, durante a ozonização, e de 90 a 95 por cento, após o leito de carvão ativado. Bauer et al. (1996) estudaram a associação de carvão ativado granular ao leito de areia, na filtração lenta (taxa de 0,3 m/h) com pré ozonização, para avaliar a remoção de cor, gosto, odor, diminuição de subprodutos da desinfecção e controle

de micropoluentes (atrazina, simazina, isopruton e diuron), na água do Rio Tâmsa. Segundo os autores, a melhor alternativa foi uma camada de carvão ativado granular (0,15 m) entre duas camadas de areia do filtro lento (a superior de 0,45 m e a inferior de 0,30 m). A camada superior de areia protege o carvão ativado granular de uma carga de matéria orgânica particulada, atuando como um filtro lento normal; a camada do meio, de carvão ativado, atua como adsorvedor (camada "sandwich") e, a camada inferior de areia, como uma camada de filtração e proteção. O efluente do filtro com leito de areia e carvão ativado teve sua eficiência comparada com o efluente do filtro lento de camada de areia (0,90 cm), e a duração da carreira de filtração foi à mesma para os dois filtros, em torno de dois meses. A diminuição de absorvância em UV a 254 nm foi de 55 por cento e a diminuição de absorvância a 400 nm foi de 60 a 70 por cento. Foi possível a diminuição na concentração de agroquímicos (diuron, isopruton, linuron, 2,4-DT, MCPA entre outros) para valores inferiores a 0,1 µg/l, exceto para atrazina, que foi reduzida na faixa de 30 a 60 por cento. Em consequência do resultado positivo encontrado pelos autores, a introdução de uma camada intermediária de carvão ativado granular nos filtros lentos foi utilizada em quatro linhas de tratamento de água do Rio Tâmsa, após pré-filtração. Esta tecnologia, em conjunto com a pré-ozonização, irá produzir água que atenda os padrões do E.C. Directive para agroquímicos, além de oferecer benefícios econômicos quando comparada com soluções convencionais. HUANG & BANKS (1996) estudaram a influência da biodegradação de atrazina e isopropilatrazina (concentração afluente igual a 15 µg/L) em filtros biológicos de carvão ativado granular em água do rio Kansas (Topeka, KS) com COT de 14 mg/L. A matéria orgânica presente competiu com atrazina nos sites de carvão ativado granular no ensaio de adsorção e ocorreu aumento na adsorbabilidade da atrazina quando o afluente foi pré-ozonizado e a competição de atrazina e NOM decresceu. O caminho metabólico para degradação de atrazina foi a desalquilação seguido da quebra do anel de triazina.

4 METODOLOGIA

4.1 Considerações gerais

A instalação piloto de Filtração em Múltiplas Etapas, FiME, encontra-se nas dependências da Estação de Tratamento de Água de São Carlos-ETASC. O sistema de tratamento era constituído de pré-filtração, pré-ozonização, filtração lenta e sistema de preparação e adição de produtos químicos (atrazina e peróxido de hidrogênio). A pré-filtração era constituída das unidades de pré-filtro dinâmico (denominado PFD), com escoamento descendente, seguido de pré-filtro vertical com escoamento ascendente (denominado PFVA). A pré-ozonização era realizada na coluna de ozonização com difusor de bolhas finas. O sistema de ozonização era constituído de coluna de ozonização, medidor de ozônio na fase gasosa, medidor de ozônio residual em linha, rotâmetro e destruidor de ozônio. A filtração lenta era constituída de filtro de areia com leito de areia (FLA), e filtro de areia com camada intermediária de carvão ativado granular. As investigações experimentais foram realizadas no período de fevereiro de 2000 a setembro de 2001. Foram realizadas seis carreiras de filtração em condições operacionais diversas, conforme listadas na Tabela 4.1. O fluxograma dos ensaios realizados pode ser visualizado na Figura 4.1.

Os ensaios foram divididos em 3 fases: na FASE 1, o objetivo foi avaliar a capacidade da pré-filtração (constituída de uma unidade de pré-filtro dinâmico e pré-filtro vertical ascendente) e a filtração lenta na remoção de atrazina, matéria orgânica e microrganismos. Nesta fase foram realizadas três carreiras denominadas Carreira 1, Carreira 2 e Carreira 3. A Carreira 1 foi desenvolvida como controle, adequação operacional do sistema e teve duração de 84 dias. Na Carreira 2, o objetivo principal foi o de avaliar a capacidade do pré-filtro vertical ascendente (PFVA) e dos filtros lentos na remoção do conteúdo de atrazina. A adição de atrazina (somente nesta carreira) foi realizada à montante do PFVA, a partir do 7º dia de operação do sistema, quando os filtros lentos já operavam com taxa de $4 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$. A carreira teve duração de 94 dias. Após o encerramento da Carreira 2, foi realizada uma carreira intermediária, com adição de substâncias húmicas à montante do filtro lento para avaliar a capacidade destes na remoção de matéria orgânica medida como substância húmica. Esta carreira teve duração de 85 dias, com volume de água tratado igual a 166 m^3 , e foi objeto de uma dissertação de mestrado (Almeida, 2001). Finalmente foi realizada então a Carreira 3, após 263 dias de operação contínua do

sistema, com volume total de água tratado igual a 516 m^3 . O objetivo da carreira 3 foi avaliar a capacidade do filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular, em remover atrazina após receber em seu afluente substâncias húmicas sem que houvesse troca da camada de carvão ativado granular. O período de realização desta carreira foi de 20 de novembro a 11 de dezembro de 2000, caracterizado por período de chuvas e conseqüente piora na qualidade da água bruta afluente, reduzindo o período de operação da carreira. A atrazina, como solução (Gesaprim), foi adicionada à montante dos filtros lentos a partir do segundo dia de operação, diferentemente do que foi realizado na Carreira 2, quando a atrazina foi adicionada à montante da unidade de pré-filtração. Como foi verificada baixa remoção no conteúdo de atrazina pelo pré-filtro vertical ascendente, mostrado pelos resultados da Carreira 2, decidiu-se adicionar a atrazina à montante dos filtros lentos. Logo após o término da Carreira 3, foi realizada remoção, lavagem e reposição de 10 cm da camada superficial de areia dos filtros lentos.

TABELA 4.1 Condições operacionais propostas para os ensaios

Fase	Condições operacionais propostas
1	<ul style="list-style-type: none"> - Avaliar a FiME sem a utilização da pré-oxidação na remoção de matéria orgânica e atrazina; - Carreiras 1 a 3; - Carreira 1 – controle operacional do sistema sem adição de atrazina; - Taxa no PFVA igual a $12 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e no PFD igual a $18 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$; - Taxa nos filtros lentos igual a $4 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$. - Carreira 2 – adição de atrazina à montante do PFVA; - Carreira 3 – adição de atrazina à montante dos filtros lentos.
2	<ul style="list-style-type: none"> - Carreiras 4 e 5; - Avaliar a oxidação e a filtração lenta na remoção de matéria orgânica e atrazina utilizando-se o ozônio na pré-oxidação; - Adição de atrazina à montante dos filtros lentos; - Taxa no PFVA igual a $12 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e no PFD igual a $18 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$; - Taxa nos filtros lentos igual a $4 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$;
3	<ul style="list-style-type: none"> - Carreira 6 - Avaliar a oxidação e a filtração lenta na remoção de matéria orgânica e atrazina utilizando o ozônio e peróxido de hidrogênio na pré-oxidação; - adição atrazina montante filtros; - taxa no PFVA igual a $12 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e no PFD igual a $18 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$; - taxa nos filtros lentos: $4 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$;

Na FASE 2, foram realizadas duas carreiras denominadas Carreira 4 e Carreira 5, com o objetivo de avaliar a pré-oxidação com ozônio na remoção de atrazina na filtração lenta. Na pré-oxidação, as condições operacionais foram mantidas constantes durante a carreira. A aplicação de ozônio foi realizada na parte inferior da coluna de ozonização e a variação da dose de ozônio aplicada era

realizada pela variação na concentração do ozonizador, mantendo constante a vazão de ar na coluna de ozonização. Na Carreira 4, o tempo médio de detenção na coluna de ozonização foi de 8,5 minutos com altura de lâmina de água em torno de 4,30 m. Na Carreira 5, foi introduzida, em paralelo, uma nova unidade de filtração lenta com camada intermediária de carvão ativado granular para efeito de comparação e avaliação na capacidade do filtro em reduzir matéria orgânica e atrazina.

O objetivo principal da Carreira 4 foi avaliar a capacidade de remoção de atrazina pelas unidades de filtração lenta, utilizando a pré-oxidação com ozônio. A carreira teve duração de 52 dias. Durante a realização da Carreira 4, foram detectados problemas operacionais com o sistema de filtração lenta, pois os filtros lentos operaram com taxa de $4 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ por apenas 18 dias, produzindo efluente com turbidez maior que a esperada para as condições de turbidez da água bruta. Ficou decidido então tomar algumas providências para adequar o processo. Foi retirada toda a camada de areia dos filtros lentos que foi lavada e repostada para início de operação da Carreira 5. Na carreira 5, esperando-se duração maior da carreira nas condições operacionais pré-estabelecidas, ou seja, filtração lenta com taxa de $4 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$, o objetivo foi avaliar melhor o processo de pré-oxidação para uma amplitude maior da dosagem de ozônio consumida que variou de 0,9 a 3,7 mg/L. Na carreira 5, foi introduzida no processo de filtração lenta, uma unidade de filtro lento com características iguais ao filtro lento com camada intermediária de carvão ativado granular. A inclusão desta nova unidade, (FLA-CAG2) teve como objetivo avaliar e comparar a remoção de atrazina para as condições de carvão ativado granular sem uso e o carvão ativado granular após 352 dias de operação contínua e volume total de água tratado igual a $629,2 \text{ m}^3$. A atrazina, como solução (Gesaprim), foi adicionada à montante dos filtros lentos no 17º dia, após os filtros lentos estarem operando com a taxa de $4 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$, e a ozonização teve início no 33º dia, após ter sido avaliada a filtração lenta sem a condição de pré-oxidação. A carreira teve duração de 72 dias.

FASE 3 – Nesta fase foi realizada uma carreira de filtração, denominada Carreira 6, que teve, como objetivo, avaliar a capacidade do sistema de ozonização associado ao peróxido de hidrogênio na remoção de atrazina pela oxidação somente e pelas unidades de filtração lenta. A atrazina, como solução (Gesaprim), foi adicionada à montante da coluna de ozonização e o peróxido de hidrogênio, em um ponto imediatamente posterior a adição de atrazina. O ozônio continuou sendo adicionado na base da coluna de ozonização, que operou com tempo de contato médio de 12 minutos. A atrazina foi adicionada ao sistema no 12º dia de operação, o ozônio no 15º dia de operação e o peróxido de hidrogênio, associado ao ozônio, foi adicionado no 19º dia de operação. Esta condição operacional foi estabelecida para calibrar e checar o sistema para as condições estabelecidas nas carreiras anteriores, tais como: remoção de atrazina a valores inferiores a $2,0 \text{ } \mu\text{g/L}$ na camada de carvão ativado granular, sem a utilização da pré-oxidação; remoção de atrazina com pré-oxidação

para valor de dose de ozônio consumida igual a 1,0 mg/L. A dose de ozônio foi fixada em 1,0 mg/L e variou-se a relação H_2O_2/O_3 de 0,1 a 1,0, com o objetivo de reduzir o conteúdo de atrazina no efluente ozonizado (JC). A carreira teve duração de 62 dias. O fluxograma das etapas realizadas encontra-se na Figura 4.1.

FIGURA 4.1 Fluxograma dos ensaios realizados

Durante as carreiras, os pontos de retirada de amostras para análise foram: água bruta (AB); efluente do pré-filtro dinâmico (PFD), efluente do pré-filtro vertical ascendente (PFVA), montante da coluna (MC) e jusante da coluna (JC), quando a condição de pré-oxidação foi utilizada, efluente do filtro lento de areia (FLA); efluente do filtro lento de areia e carvão ativado granular (FLA-CAG). Nas carreiras 1, 2 e 3, foi feita coleta no filtro lento, com camada intermediária de carvão ativado granular, em ponto imediatamente superior à camada de carvão ativado granular (FLA-CAGi). Na carreira 5, foi acrescentado ao sistema um terceiro filtro lento de areia e carvão ativado granular denominado (FLA-CAG2) com camada de carvão intermediária nova, para avaliar e comparar o

comportamento da camada intermediária de carvão ativado granular com o leito que já vinha sendo utilizado continuamente por 352 dias, com volume de água tratado de 672,2 m³.

4.2 Descrição e Funcionamento da Instalação Piloto

Nas investigações experimentais foi utilizada água bruta proveniente do ribeirão Feijão, um dos mananciais utilizados no abastecimento de água da cidade de São Carlos, SP. A tomada de água foi feita através de derivação na adutora localizada na Estação de Tratamento de Água de São Carlos, próxima à Instalação Piloto. A essa derivação foi conectada uma tubulação de PVC de 50 mm que abastecia um reservatório apoiado de 50 litros (Figura 4.2). Do reservatório, a água era encaminhada por recalque para uma caixa de distribuição (caixa 1) composta de vertedor triangular, para controle da vazão afluente ao sistema. Em todas as carreiras, da caixa de distribuição de água bruta (caixa 1), a água, por gravidade percorria as seguintes unidades de pré- tratamento, nesta seqüência: pré-filtro dinâmico, caixa de controle de vazão (caixa 2), pré-filtro vertical ascendente. A caixa 2 era composta de vertedor triangular e registros que permitiam controle de vazão afluente ao pré-filtro vertical ascendente, descarte da vazão excedente e desvio da água de lavagem do pré-filtro dinâmico.

Após a unidade de pré-filtro vertical ascendente, três condições de operação foram alternadas. Na Carreira 1, quando foi utilizada água bruta natural sem adição de produtos químicos e oxidação, todo o processo de tratamento, exceto o recalque da água bruta, funcionava por gravidade, na seguinte seqüência: recalque de água bruta, caixa 1, caixa 2, pré-filtro vertical ascendente, caixa 4 (à montante dos filtros lentos) e filtros lentos. O esquema da instalação piloto pode ser visualizado na Figura 4.3 e, na Figura 4.4, tem-se uma vista superior parcial da Instalação Piloto. Quando a condição de pré-oxidação foi utilizada, o efluente do pré-filtro vertical ascendente seguia, por gravidade, para caixa de passagem de 150 litros em fibra de vidro; e, após, a água era recalçada para a caixa 3, à montante da coluna de ozonização e, deste ponto, a água era encaminhada para as unidades de filtração lenta, passando por uma caixa de distribuição (caixa 4), a montante dos filtros lentos. A atrazina era adicionada através de bomba dosadora em um ponto à montante da coluna de ozonização.

FIGURA 4.2 Adutora e reservatório de água bruta

FIGURA 4.3 Esquema vertical do sistema de tratamento

FIGURA 4.4 Vista superior do pré-filtro dinâmico (PFD), do pré-filtro vertical ascendente (PFVA), do filtro lento de areia (FLA), do filtro lento de areia e camada de carvão ativado (FLA-CAG, FLA-CAG2).

4.2.1 Sistema de pré-filtração

As unidades de pré-filtração e filtração do sistema foram construídas em chapa metálica, e as tubulações de interligação das unidades em PVC com diâmetro nominal de 50 mm (interligação desde a água bruta até a caixa 4) e de 20 mm (interligação da caixa 4 aos filtros lentos). A Tabela 4.2 apresenta as características do leito das unidades de pré-filtração. O sistema de drenagem dos pré-filtros dinâmicos era constituído por um único tubo em forma de "U", de diâmetro igual a 50 mm, provido de 24 orifícios de 6,4 mm (Figura 4.5).

TABELA 4.2 - Características das unidades de pré-filtração

Características das unidades	Granulometria (mm)	Espessura (m)
PRÉ-FILTRO DINÂMICO - PFD: taxa de filtração: 18 m ³ /m ² d (0,75m/h), área de 1,125 m ² ,	15,9-25,4	0,40
	12,7-19,0	0,25
	6,4-12,7	0,25
PRE-FILTRO VERTICAL DE FLUXO ASCENDENTE – PFVA: taxa de filtração de 12 m ³ /m ² d (0,5 m/h), área de 0,50 m ² .	31,4-50,0	0,50
	19,0-25,4	0,40
	9,6-25,9	0,40
	3,2-6,4	0,40
	1,41-3,2	0,40

FIGURA 4.5 Detalhe do pré-filtro dinâmico e do pré-filtro vertical ascendente

4.2.1.1 Operação e manutenção das unidades de pré-filtração

A limpeza do pré-filtro dinâmico era realizada utilizando os seguintes procedimentos: limpeza das paredes internas da unidade e das caixas de distribuição (caixa 2) revolvimento do topo da camada filtrante e descargas de fundo. Para início da limpeza, fechava-se o registro de água efluente desta unidade e toda água bruta afluente ao sistema escoava verticalmente sobre a superfície do leito filtrante, fazia-se limpeza das paredes internas da unidade e iniciava-se o revolvimento do leito com rastelo. Este procedimento era encerrado quando a água de lavagem apresentava turbidez bem próxima à do efluente. Após esta etapa de limpeza, eram dadas descargas de fundo, dando-se golpes com válvula de fechamento rápido. Este segundo procedimento era encerrado quando o efluente da água de limpeza apresentava turbidez próxima à afluente.

Após estes procedimentos que duravam em torno de 4 horas, era feita a limpeza da caixa de distribuição (caixa 3) e o filtro era colocado em operação. A frequência de limpeza desta unidade era ditada pela variação na qualidade do efluente. A limpeza do pré-filtro vertical ascendente era feita mediante descargas de fundo até que o efluente apresentasse turbidez próxima à água. A frequência de limpeza era a mesma do pré-filtro dinâmico. A limpeza iniciava-se após a limpeza

do pré-filtro dinâmico na seguinte sequência: fechamento da saída de água aos filtros lentos, abertura da válvula para alimentação da unidade, iniciava-se as descargas de fundo com “choques” mediante válvula de fechamento rápido e limpeza da tubulação de coleta de água pré-filtrada e água de lavagem. O procedimento de descargas era encerrado quando a turbidez da água de lavagem era bem próxima da turbidez afluyente. As atividades de operação e manutenção diárias das unidades de pré-filtração eram: controle e registro da vazão afluyente e efluente, medição e registro da qualidade da água afluyente e efluente através da medida de turbidez, inspeção na camada de lodo formada na superfície do meio granular e verificação do desenvolvimento da perda de carga. O efluente da água de lavagem era conduzido as canaletas de coleta da instalação piloto e encaminhada para o sistema de drenagem da Estação de Tratamento de Água de São Carlos. Os efluentes das unidades da instalação piloto eram coletados em calhas e armazenados em reservatório enterrado de 500L e recalcado através de bomba submersível para a caixa de chegada de água bruta da Estação de Tratamento de Água de São Carlos. As principais características da bomba submersível eram: vazão máxima ($16\text{m}^3/\text{h}$) altura manométrica máxima (13,5 m.c.a.) e rotação de 3450 rpm.

4.2.2 Operação e manutenção das unidades de filtração lenta

O sistema de filtração lenta era constituído de unidades de filtração lenta com leito filtrante e areia (FLA) e unidade filtrante com camada filtrante em e com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG). Os filtros lentos eram operados com o efluente do pré-filtro vertical ascendente e efluente ozonizado. Na entrada dos filtros existia uma caixa com vertedores individuais (caixa 3) para distribuição aos filtros. Os filtros lentos foram operados com taxa constante e carga hidráulica variável. Na extremidade do tubo de alimentação de cada filtro existe uma placa defletora, que permitia distribuição mais uniforme da vazão afluyente e protegia o leito filtrante. A Tabela 4.3 apresenta as características das unidades filtrantes, a Figura 4.6 apresenta detalhe dos filtros lentos e na Figura 4.7 tem-se a vista parcial dos filtros lentos.

Na primeira carreira de filtração no início de operação os filtros lentos foram abastecidos por três dias não consecutivos com água bruta para que se formasse a camada biológica nos filtros lentos. Nas demais carreiras os filtros lentos eram colocados em operação com taxas menores até atingir a taxa de operação dos filtros de $4\text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$. A carreira de filtração era encerrada quando um dos filtros atingia perda de carga igual a 100 cm e iniciava-se o procedimento de limpeza. Esse procedimento consistia da limpeza da caixa de distribuição da vazão afluyente aos filtros, limpeza das paredes internas do filtro quando necessário, e raspagem da superfície do meio filtrante. A rotina de raspagem dos filtros lentos iniciava-se com a interrupção da alimentação da água para unidade e drenagem da lâmina de água através da tubulação de água

filtrada. Quando atingia o nível mínimo de água sobre o leito, abria-se o registro de descarga até que o nível de água atingisse nível cerca de 10 cm abaixo da superfície do meio filtrante e iniciava-se o processo de raspagem da camada superficial da areia (aproximadamente 1 a 2 cm). Depois de encerrada a raspagem o leito era nivelado e alimentado com água proveniente de outro filtro com velocidade ascensional inferior a 0,05 m/h até o nível de água encontrar-se acima do leito filtrante. A areia retirada do filtro lento era lavada, seca e estocada, para posterior reposição no filtro. As atividades diárias de manutenção e operação dos filtros lentos eram, controle e registro da vazão afluyente, medição e registro da qualidade da água filtrada através da medida dos parâmetros, turbidez, pH, temperatura, medição e registro da perda de carga. TABELA 4.3 - Características das unidades de filtração lenta

Características das unidades	Granulometria (mm)	Espessura (m)
FILTRO LENTO – FLA: taxa de filtração: 4 m ³ /m ² d (0,17 m/h); camada de areia (tamanho efetivo: 0,20-0,25mm; espessura de 70 cm, coeficiente desuniformidade: 2-3); área de 0,50 m ² ; tempo de contato na camada de areia: 4,2 horas.	31,4-50,0	0,30
	15,9-25,4	0,15
	7,9-12,7	0,10
	3,20-6,4	0,10
	1,41-2,40	0,10
	0,08-1,00	0,70
FILTRO LENTO – FLA-CAG: taxa de filtração: 4 m ³ /m ² d (0,17 m/h); camada de areia (tamanho efetivo: 0,20-0,25mm; espessura de 40 cm), coeficiente desuniformidade: 2-3); camada intermediária de carvão ativado granular (número de iodo superior a 400 mg/g, espessura da camada de 30 cm, granulometria entre 0,30-0,85 mm, coeficiente de desuniformidade ≤ 1,7 e tamanho efetivo entre 0,4 e 0,45 mm.); área de 0,50 m ² ; tempo de contato na camada de areia e carvão ativado: 4,2 horas.	31,4-50,0	0,30
	15,9-25,4	0,15
	7,9-12,7	0,10
	3,20-6,4	0,10
	1,41-2,40	0,10
	0,08-1,00	0,10
	carvão ativado	0,30
	0,08-1,00	0,30

FIGURA 4.6 Detalhe do filtro lento de areia e do filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular

FIGURA 4.7 Vista do filtro lento de areia (FLA), filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG), piezômetros dos filtros lentos, da caixa de distribuição de água aos filtros lentos (caixa 3) e da canaleta de coleta de água da instalação piloto

4.2.3 Sistema de ozonização

O sistema de ozonização era constituído de: unidade geradora de ozônio, coluna de ozonização, difusor de bolhas, medidor de ozônio na fase gasosa, medidor de residual de ozônio, rotâmetro para medida do gás ozônio.

4.2.3.1 Unidade geradora de ozônio

O gerador de ozônio utilizado foi da marca EAGLESAT, modelo OZ-7, com capacidade de 7 g/h. O ozonizador funciona baseado no efeito Corona e trabalha com injeção de oxigênio gerado a partir do ar, através de equipamento do mesmo fabricante acoplado ao ozonizador. O ozonizador dispõe de rotâmetro que possibilita a variação de ar permitindo variação na concentração de ozônio aplicada. Na Figura 4.8 tem-se uma vista interna do ozonizador e as características são apresentadas na Tabela 4.4.

TABELA 4.4 Características do ozonizador da Eaglesat
OZ-7

Produção de O ₃ (g/h)	7,0
Pressão gás (Bar)	0,9
Concentração média de O ₃ (%)	2,0
Potência (Watts)	150
Tensão de alimentação	110 + aterramento
Frequência (Hz)	60,0
Peso (Kg)	5,0
Dimensões (mm)	400,0 x 500,0 x 250

FIGURA 4.8 Vista do interior do ozonizador da Eaglesat

4.2.3.2 Coluna de ozonização

O sistema de transferência do ozônio da fase gasosa para a fase líquida se deu através de uma coluna de ozonização, com difusor poroso de bolhas finas em sua extremidade inferior (Figura 4.9). A coluna era alimentada, em sua parte superior por recalque com água proveniente do pré-filtro vertical ascendente, que antes passava por uma caixa reguladora de vazão com nível constante, caixa 3. A coluna de ozonização foi construída com cinco módulos em acrílico, totalizando 5 metros de altura, diâmetro de 100mm. Durante os ensaios, a altura de água na coluna foi mantida entre 4,3 e 4,5 m, com tempo de contato médio de 12 minutos, exceto para Carreira 5 que foi de 8,5 minutos. O ozônio era injetado na parte inferior da coluna através de difusor poroso de bolhas finas. Na carreira 4, foi utilizado difusor de material cerâmico poroso (vela comum de filtro). Este difusor apresentou problemas e teve de ser trocado várias vezes, principalmente devido ao desgaste nas partes coladas provocado pelo ozônio e foi substituído nas Carreiras 5 e 6 por um difusor de sílica. As características do difusor poroso de sílica estão apresentadas na Tabela 4.5.

FIGURA 4.9 Vista da base da coluna de ozonização e do difusor poroso de sílica

TABELA 4.5 Características do difusor poroso

Características

Material	sílica
Tamanho máximo dos poros	80 μm
Tamanho de bolha	0,5 – 2,0 mm
Tamanho nominal de retenção de partículas	25 μm
Tempo serviço com pH abaixo de 8	indeterminado
Pressão admissível	3500 psi

O esquema vertical do sistema de ozonização pode ser visualizado na Figura 4.10. A caixa de nível constante, caixa 3, era composta de uma caixa de PVC diâmetro 250 mm, adaptada a uma mangueira de borracha de $\frac{1}{2}$ ", conectada a um plug no qual havia um orifício, e foi construída com a finalidade de manter constante a vazão afluyente à coluna de ozonização. O gás residual na coluna de ozonização era monitorado e quando a concentração era superior a 0,1 mg/L, o fluxo de ar era passado através de solução de iodeto de potássio.

FIGURA 4.10 Esquema vertical do sistema de ozonização

4.2.3.3 Medidas de controle do sistema de ozonização

No sistema de ozonização, para se ter a dosagem de ozônio aplicada e consumida, fez-se necessário o controle operacional dos seguintes pontos do sistema: a) medida da concentração do ozônio aplicado na fase gasosa o método iodométrico foi utilizado na Carreira 4; nas Carreiras 5 e 6 foi utilizado um medidor de ozônio em linha e suas características estão apresentadas na Tabela 4.6 e pode ser visualizado na Figura 4.11; b) medida do residual de ozônio inicialmente o método iodométrico foi utilizado na carreira 4 e após com o medidor em linha cujas características se encontram na Tabela 4.7, na Figura 4.12; e c) medida do "off-gas", pelo método iodométrico. O método iodométrico, para medida do residual, encontra-se descrito em

APHA (1985, N° 16). O método iodométrico para medida do “off-gas” e produção do aparelho de ozonização é o recomendado pela International Ozone Association (1987).

TABELA 4.6 Características do aparelho medidor de ozônio na fase gasosa

Características	
Modelo	Afx® Instrumentation-In USA Incorporated – modelo HI-S
Princípio de medida	Determinação absoluta por absorção UV e compensação automática de pressão, de temperatura e peso molecular, medida contínua.
Faixa de medida	0 -125g/m ³
Sensibilidade e precisão	0,1 g/m ³
Condições de operação	5-45 °C, 0 a 95% umidade.

FIGURA 4.11 Vista do medidor de ozônio UV e do rotâmetro utilizado para controle de vazão de ar (a) e do medidor de ozônio residual (b).

TABELA 4.7 Características do medidor de ozônio residual

Características	
Modelo	Dulcometer® Prominent –modelo OZS 05K2
Princípio de medida	Sensor com válvula solenóide, em linha
Faixa de medida	0 -2 mg/L
Taxa máxima de pulso (pulso/s)	5/20

4.3 Sistema de preparação e adição de produtos químicos

Foram considerados dois sistemas de adição de produtos químicos, o de adição de atrazina e o de adição de peróxido de hidrogênio.

4.3.1 Sistema de preparação e adição de atrazina

Para adição de atrazina no sistema foi utilizada a formulação Gesaprim 500 da Ciba-Geigy Química S. A., com concentração de atrazina medida em laboratório de 280 g/L. Apesar de se ter utilizado a formulação, em todo o trabalho será referido o componente adicionado como sendo atrazina. Para adição de atrazina ao sistema, era preparada uma solução estoque de atrazina, armazenada em galão de 40 L, que servia como reservatório para recalque da solução. Neste galão foi instalado um misturador, para que a solução fosse agitada continuamente. Duas situações de recalque foram estudadas. Na Carreira 2, a solução era recalçada, através de bomba dosadora, para um ponto à montante do pré-filtro vertical ascendente. A solução de atrazina para esta condição era preparada com água efluente do pré-filtro dinâmico. Após ter sido verificada a baixa remoção de atrazina pelo pré-filtro vertical ascendente, nas demais carreiras, carreiras 3, 4, 5 e 6, a atrazina foi adicionada imediatamente à montante da coluna de ozonização e a solução de atrazina foi preparada com água do pré-filtro vertical ascendente. Na carreira 6, com a piora da qualidade do efluente do pré-filtro vertical ascendente, verificou-se que ocorria floculação e a concentração preparada no galão era diferente desde a sua preparação, até atingir o volume mínimo no galão de preparação, decrescendo com o tempo. Na carreira 6 e 8, foi possível preparar a solução com água destilada permitindo maior controle na concentração da solução preparada. A bomba dosadora utilizada no recalque da solução de atrazina apresentava as seguintes características: vazão de 1 L/h; altura manométrica máxima de 20 mca.

TABELA 4.8 Características do Gesaprim

Características	
Gesaprim 500	6-Chloro-N-ethyl-N(1-methylethyl)-1,3,5-triazine-2,4diamine;
Peso molecular	215,69
Formulação	suspensão concentrada leitosa, embalada em recipientes plásticos
Classe	herbicida seletivo do grupo químico das triazinas
Classe toxicológica	classe III, produto perigoso
Manuseio, recomendações de segurança, primeiros socorros.	evitar aspiração ou inalação do produto, contato com a pele e olhos; em caso de ocorrência, lavar com água corrente durante 15 minutos e, se houver irritação, procurar médico, imediatamente, com o rótulo do produto.

4.3.2 Preparação do peróxido de hidrogênio

O peróxido de hidrogênio utilizado foi o Clamarim® 503 da Degussa-Hüls. As características do produto utilizado são apresentadas na Tabela 4.9. A solução era preparada com água destilada em

concentração que resultasse em concentração aplicada à montante da coluna, na relação peróxido de hidrogênio/ozônio de: 0,1; 0,25, 0,5 e 1,0. O controle da concentração de peróxido de hidrogênio na bombona era feito diariamente, para ajuste da vazão de recalque para obter a concentração desejada no sistema. O método utilizado foi o de titulação com permanganato de potássio. A solução era preparada em bombonas de 40 L e recalçada com bomba dosadora, para a coluna de ozonização.

TABELA 4.9 Características do peróxido de hidrogênio

Características do Peróxido de Hidrogênio	
Aparência	líquido límpido, incolor
Características	odor levemente picante, embalagem: bombonas plásticas
Concentração padrão	48% (Clamarim ® 503)
Fórmula química	H_2O_2
Peso molecular	34,01
Solubilidade	miscível em água
Densidade a 20°	1,2 g/L
pH 20°	< 2, corrosivo e irritante
Manuseio, estocagem, recomendações de segurança	O Clamarim ® 503 não é estável na forma diluída. Armazenar longe do calor. Evitar contato com produtos inflamáveis. Vestir proteção para olhos, nariz e mãos. Caso ocorra contato, lavar imediatamente com água corrente, por 15 minutos e procurar ajuda médica, com o rótulo do produto. Para maiores informações (*).

(*) <http://www.peroxene>

4.4 Parâmetros de Medida

A avaliação da eficiência do sistema de ozonização e das unidades de pré-filtração e de filtração lenta, bem como do processo global, foi feita pelo monitoramento dos parâmetros físico-químicos e bacteriológicos na água bruta e nos afluentes e efluentes das unidades, descritos na Tabela 4.10. Os pontos de coleta foram: água bruta (AB), efluente do pré-filtro dinâmico (PFD), do pré-filtro vertical ascendente (PFVA), à montante da coluna (MC), à jusante da coluna (JC), do filtro lento de areia (FLA) e do filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG). As leituras de pH, turbidez, temperatura, residual de ozônio, "off-gas" foram feitas no laboratório da instalação piloto. As demais determinações físico-químicas e bacteriológicas foram feitas no laboratório de saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos e a quantificação da atrazina, no Laboratório de Radioquímica da Escola de Engenharia de São Carlos - USP. Na Figura 4.13, pode-se visualizar a parte interna do laboratório da instalação piloto, com vidrarias e equipamentos de medida. As amostras eram colhidas em garrafas plásticas de 2 L, com exceção daquelas destinadas à determinação de oxigênio dissolvido - OD, coliformes e bactérias heterotróficas, que foram colhidas em recipientes especiais. Terminada a coleta, todas as amostras eram imediatamente conduzidas ao laboratório de saneamento para análises e exames. Os parâmetros, métodos e equipamentos utilizados

estão descritos na Tabela 4.10. Após o encerramento da última carreira de filtração (Carreira 6), foi coletada uma amostra da superfície da camada do carvão ativado granular para ser observada em microscópio eletrônico de varredura, para comparação de uma amostra com o material sem uso. Os grãos foram observados em microscópio eletrônico de varredura Marca ZEISS, modelo DSM 960 de 10 a 20 KeV, no Laboratório de Microscopia e Análise do Instituto de Física da USP, em São Carlos. Além desses parâmetros foram monitoradas as taxas de filtração através de vertedores e sifões e a perda de carga no meio filtrante de cada unidade, através de piezômetros.

FIGURA 4.12 Vista parcial interna do Laboratório da instalação piloto

TABELA 4.10 Parâmetros, métodos e equipamentos utilizados.

Parâmetro	Métodos e Equipamentos de medida
Absorvância ✓	Espectrofotometria - $\lambda=254$ nm (cubeta de 1 cm) – Espectrofotômetro UV-160 a – SHIMADZU
Alcalinidade (mg/L CaCO ₃) ✓	Titulação potenciométrica com ácido sulfúrico – pHmetro, bureta de 10 mL 1/20.
Atrazina (mg/L) ✓	Cromatografia: CG-NPD, CG-ECD, HPLC-UV
Bactérias Heterotróficas (UFC/100mL) ✓	Contagem de bactérias em placas (IDEXX SIMPLATE)
Carbono Orgânico Dissolvido Não-Purgável (mg/L) ✓	Filtração e combustão com filtração da amostra em membrana ME- SS (porosidade de 0,45 μ m) acidificação prévia da amostra (ácido clorídrico 2N) - TOC 5000-A-Shimadzu Corporation
Coliformes totais e <i>Escherichia coli</i> (NMP/100ml) ✓	Método do substrato definido utilizando-se enzima COLILERT (IDEXX), procedimento Quanti-Tray – Estufa, Seladora Idexx-Quanti-Tray e aparelho Spretoline modelo CM-10; Fluorescence Analysis Cabinet, da Spectronics Corporation
Condutividade (μ S/cm) ✓	Condutivímetro - Concitivity Meter DS-15 - HORIBA
Cor Aparente (uH) ✓	Espectrofotometria – $\lambda=455$ nm - DR 4000 – HACH

TABELA 4.10 Parâmetros, métodos e equipamentos utilizados continuação

Parâmetro	Métodos e Equipamentos de medida
Cor Verdadeira(uH)	Centrifugação (3500 rpm durante 30 minutos) e espectrofotometria – λ = de bancada-FANEM, modelo 215 e DR 4000 – HACH455 nm - Centrífuga
Nitrato (mg/L)	Espectrofotometria – λ =220 nm Espectrofotômetro UV-160 a – SHIMADZU
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	Método de Nessler (HACH) – DR 2000 – HACH
Oxigênio Consumido (mg/L)	Método CETESB, operação e manutenção de ETA
Oxigênio Dissolvido (mg/L)	Método do eletrodo de membrana – Oxímetro – Digimed, modelo DM4
Ozônio fase gasosa (mg/L)	Iodométrico e espectrofotometria por ultravioleta - Analisador de ozônio Afx® Instrumentation - In USA Incorporated - modelo HIS
Ozônio residual (mg/L)	Iodométrico e amperométrico de pulsação com eletrodos revestidos com membranas
pH	Potenciômetro ORION-modelo 410
Peróxido de Hidrogênio (mg/L)	Método do permanganato de Potássio
Sólidos Suspensos/ Totais (mg/L)	Filtração em membranas, porosidade de 1,2 μ m
Temperatura (Co)	Termômetro de mercúrio, escala de 10 a 100 °C - modelo INCODERM
Turbidez (UT)	Nefelométrico, utilizando-se aparelho TURBIDIMETER 2100P-HACH
Vazão	Método volumétrico – cronômetro Technos com legibilidade de 1/100s
Nível Piezométrico	Leitura em piezômetros – tubos flexíveis transparentes com diâmetro interno de 5 mm.

As análises, exceto residual para o peróxido de hidrogênio, ozônio na fase gasosa e atrazina foram realizadas segundo APHA - Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20ª edição 1996.

4.4.1 Metodologia para quantificação da Atrazina

Os reagentes, soluções e padrões utilizados durante a pesquisa para quantificação de atrazina estão listados a seguir:

- Atrazina 98% - ATZ - (Poly Science Corporation)
- Atrazina desisopropil – (CEAT) - 96,5% (Dr. Ehrenstorfer)
- Atrazina desetil – (CIAT) - 95,5 % (Dr. Ehrenstorfer)
- Atrazina desetil-2-hidroxi – (OIAT) - 97,5%(Dr. Ehrenstorfer)
- Metanol HPLC (Mallinckrodt)
- Acetato de Etila HPLC (Mallinckrodt)
- Hexano HPLC (Mallinckrodt)

A quantificação da atrazina e dos subprodutos; 2-Cloro-4-amino-6-isopropilamino-1,3,5-triazina (CIAT), 2-amino-4-cloro-6-etilamino-s-triazina (CEAT) e o Atrazina-desetil-2-hidroxi (OIAT) foi feita por cromatografia descrita no item 4.4.1.1. As determinações da atrazina e dos subprodutos foram feitas por padronização externa. As equações foram obtidas através de regressão linear das áreas dos picos dos padrões em função das concentrações estudadas. As equações resultantes foram:

Atrazina: $y = 0,00476878x$; $R = 0,99$

CIAT: $y = 0,0055033x$; $R = 0,99$

CEAT: $y = 0,00689195x$; $R = 0,99$

OIAT: $y = 0,0108579x$; $R = 0,99$

Onde:

X: concentração dos produtos ($\mu\text{g/mL}$)

Y: área do pico cromatográfico

4.4.1.1 Condições cromatográficas

Durante todo o desenvolvimento da pesquisa, a metodologia para quantificação da atrazina foi sendo desenvolvida à medida que novas situações e dificuldades operacionais foram surgindo. As principais metodologias utilizadas com adaptações foram: SANTISTEBAN, A.M.J., 1999; BERT et al., 1995 e VITALI et al., 1994. O desenvolvimento da metodologia foi realizado no Laboratório de Química Ambiental do Instituto de Química de São Carlos. Para quantificação de atrazina na Carreira 2, foram utilizados cromatógrafos a gás. Nas Carreiras 3 a 6 foi utilizado o HPLC com detector de UV para quantificação de atrazina e subprodutos.

- **Cromatógrafo a gás com detector NPD**

O Cromatógrafo foi utilizado para quantificar atrazina na Carreira 2. A característica do Cromatógrafo é:

HP 5890, série II, equipado com detector de nitrogênio e fósforo. Coluna SPB – 5 (5% de difenil – 94 % dimetil – 1% vinil polissiloxano/ 30m X 0,25 mm X 0,25 μm)

- **Condições operacionais**

- Temperatura inicial injetor: 280 °C
- Temperatura detector: 290 °C
- Fluxo H_2 do detector: 30 mL/min
- Fluxo ar do detector: 120 mL/min
- Fluxo H_2 para coluna: 2,2 mL/min
- Volume injeção: 1 μL
- Método de injeção: "on column"
- Volume de injeção: 1,0 μL

Não foi conseguida uma boa reprodutibilidade dos dados sendo necessário um número muito grande de injeções quando foi utilizado este equipamento. Ficou decidido, então, ainda durante a Carreira 2, iniciar a quantificação da atrazina no Cromatógrafo a gás com detector de captura de elétrons.

- **Cromatógrafo a gás com detector de ECD**

Ainda durante a Carreira 2, foi utilizado o cromatógrafo a gás ECD, para quantificação da atrazina. As características do equipamento são:

HP 5980, série II, equipado com detector de captura de elétrons. Coluna SPB – 5 (5% de difenil – 95 % dimetil siloxano)/ 30m X 0,25 mm X 0,25 μ m.

- Condições operacionais:
- Temperatura inicial injetor: 280 °C
- Temperatura detector: 320 °C
- Gás de arraste: H₂, 1mL/min.
- Volume injeção: 1 μ L
- Split $\leq$ 1:10

- **Cromatógrafo Líquido**

A partir da Carreira 4, foi utilizado o cromatógrafo líquido uma vez que o Laboratório de Radioquímica recebeu um equipamento desta natureza. A partir da aquisição do equipamento, foi feita uma nova pesquisa bibliográfica para detecção e quantificação de atrazina e foi verificada a possibilidade de quantificação da atrazina e subprodutos em uma única injeção. Foi testada a metodologia proposta por BERG et al., (1995) e a reprodutibilidade dos dados foi satisfatória, sendo esta metodologia utilizadas nas Carreiras 3 a 5. As características do equipamento utilizado são: Cromatógrafo Líquido – Shimadzu modelo SPD-6 A equipado com detector UV-Vis LC-9 A (HPLC-UV). Coluna C₈ (Shim-pack).

- Condições operacionais:
- Eluente: mistura metanol/água (70:30 v/v)
- Fluxo: 1mL/min
- Loop: 2 μ L

Todas as determinações foram realizadas com detecção no comprimento de onda de 230 nm (comprimento de onda de absorção da atrazina e dos subprodutos). A quantificação da atrazina e dos subprodutos foi realizada pelo método de padronização externa. A recuperação do método utilizado foi de 87,63 por cento. Na Tabela 4.11 estão apresentados os tempos de retenção e peso molecular da atrazina e subprodutos.

TABELA 4.11 Peso molecular e tempo médio de retenção da atrazina e subprodutos

	Peso molecular	Tempo médio de retenção (min)
Atrazina 98% - ATZ	215,69	6,96
Atrazina desetil – (CIAT)	187,63	4,53
Atrazina desisopropil – (CEAT)	173,60	4,00
Atrazina desetil-2-hidroxi – (OIAT)	169,19	3,60

4.4.1.2 Coleta e Tratamento das Amostras

As amostras eram coletadas e armazenadas em geladeira para análise posterior. Preferencialmente, a extração era feita imediatamente após a coleta das amostras. O procedimento utilizado na preparação das amostras é mostrado na Figura 4.14.

- **Extração**

SANTISTEBAN (1999) testou a extração de atrazina em fase sólida e utilizando extração por fase sólida. Os valores encontrados mostraram que a extração em fase sólida apresentou melhores resultados de recuperação para o pesticida atrazina. No presente trabalho foi adotada a extração em fase sólida extração considerando as vantagens principais de tempo de extração menor e a minimização na geração de resíduos. Foi utilizado cartucho LC-18 da Supelco que apresenta as seguintes características e recomendações, que foram seguidas: acondicionamento com 10 mL de metanol e 10 mL de água Milli-Q; velocidade inferior a 0,05 cm/s .

- **Eluição das Amostras**

Após as amostras serem passadas na coluna LC-18, eram secas durante 10 minutos com subpressão (vácuo 50 KPa) com equipamento da SUPELCO.

- Fase 1(CG-NPD) e 2 (CG-NPD): a eluição era feita com 5,0 mL de acetato de etila
- Fase 3: a eluição era feita com 5,0 mL de metanol

Após a eluição, o volume das amostras era reduzido com gás nitrogênio para volume de 1,0 mL para injeção. As colunas foram recuperadas, em média, após cinco vezes de utilização, o que dependia do estado de colmatção das colunas. A coluna não perdia sua capacidade de retenção. A recuperação das colunas era feita com 10 mL de hexano, 10 mL de acetato de etila e 10 mL metanol, também nas três fases.

FIGURA 4.13 Fluxograma do tratamento das amostras para quantificação da atrazina

5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

5.1 Considerações Gerais

Os resultados obtidos na pesquisa foram ordenados em: pré-tratamento delimitado pelo afluente ao sistema, ou seja, a água bruta (AB) até o efluente do PFVA; pré-oxidação, que envolveu o afluente à coluna (MC) e o efluente da coluna de ozonização (JC); e filtração lenta com as unidades de filtro lento de areia (FLA), filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG). As tabelas com todos os valores medidos foram relacionadas nos Anexos A (para Carreira 1), B (para a Carreira 2), C (para a Carreira 3), D (para a Carreira 4), E (para a Carreira 5) e F (para a Carreira 6).

No Quadro 5 encontra-se resumo dos ensaios realizados e variação máxima e mínima dos parâmetros: turbidez, cor aparente, absorvância e atrazina,

QUADRO 5.1 Resumo dos ensaios realizados e valores mínimos e máximos para efluente do pré-tratamento, filtro lento de areia e filtro lento com camada intermediária de carvão ativado granular

Carreira	Duração carreira (d)		Volume Tratado (m³)		Turbidez (uT)				Cor Aparente (uH)				Absorvância – UV-254 nm (cm ⁻¹)				Atrazina (µg/L)			Condições Operacionais
	Unit.	Total	Unit.	Total	AB	PT	FLA	FLA	AB	PT	FLA	FLA	AB	PT	FLA	FLA	Afl.	FLA	FLA	
1	84	84	168,0	168,0	14 a 149	5 a 8	2 a 45	2 a 47	129 a 446	41 a 253	17 a 229	11 a 220	0,046 a 0,108	0,046 a 0,109	0,032 a 0,096	0,011 a 0,062	–	–	–	água bruta natural; Taxas – PFVA: 12 m³/m²d; PFD: 18 m³/m²d; filtros lentos : 4 m³/m²d.
2	94	178	182,0	350,0	10 a 25	3 a 9	1 a 5	1 a 6	86 a 192	28 a 76	7 a 45	2 a 43	0,038 a 0,092	0,036 a 0,089	0,008 a 0,060	0,001 a 0,029	0,4 a 269	0,02 a 261	nd a 4,9	adição atrazina à montante do PFVA; Taxas – PFVA: 12 m³/m²d; PFD: 18 m³/m²d; filtros lentos: 4 m³/m²d;
3	21	285 (*)	42,0	558,0 (*)	22 a 181	13 a 111	5 a 133	2 a 136	206 a 760	104 a 960	37 a 460	27 a 417	0,067 a 0,232	0,072 a 0,350	0,058 a 0,210	0,033 a 0,067	53 a 101	10 a 55	0,1 a a,1	adição atrazina montante filtros lentos – 2º dia; Taxas – PFVA: 12 m³/m²d; PFD: 18 m³/m²d; filtros lentos: 4 m³/m²d;
4	52	352	63	627,2	AB 20 a 179	PO 11 a 108	FLA 5 a 53	CAG 2 a 53	AB - a 170	PO 93 a 170	FLA 29 a 73	CAG 17 a 61	AB - a 0,118	PO 0,102 a 0,118	FLA 0,052 a 0,167	CAG 0,038 a 0,083	PO 2 a 125	FLA 0,1 a 55	CAG 0,01 a 0,1	Adição de atrazina montante filtros; pré-oxidação com ozônio (dose 1,4 a 2,5 mg/L) Td na coluna: 12 minutos; Taxas – PFVA: 12 m³/m²d; PFD: 18 m³/m²d; filtros lentos: 4 m³/m²d;
5	72	437	131,5	758,7	14 a 64	6 a 11	3 a 13	3 a 10	102 a 185	37 a 80	16 a 68	18 a 61	0,030 a 0,073	0,035 a 0,056	0,023 a 0,041	0,018 a 0,033	0,5 a 21	0,3 a 10	0,02 a 0,1	leito de areia limpo; adição de atrazina; pré-oxidação com ozônio (dose: 0,9 a 3,8 mg/L) Td na coluna 8,5 minutos; Taxas – PFVA: 18 m³/m²d; PFD: 20 m³/m²d; filtros lentos: 4 m³/m²d;
6	62	499	110,5	869,2	12 a 21	6 a 11	3 a 7	2 a 5	94 a 173	37 a 81	20 a 51	15 a 30	0,036 a 0,160	0,033 a 0,110	0,026 a 0,093	0,014 a 0,055	2,4 a 13	1,4 a 10	nd a 0,2	atrazina, pré-oxidação com ozônio e peróxido de hidrogênio Td na coluna: 12 minutos; Taxas – PFVA: 12 m³/m²d; PFD: 18 m³/m²d; filtros lentos: 4 m³/m²d;

AB: água bruta; Afl.: afluente; FLA: filtro lento de areia; CAG, filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular; PFVA: pré-filtro vertical ascendente; PFD: pré-filtro dinâmico; PT: pré-tratamento; PO: pré-oxidação; Td: tempo de detenção.

(*) estão incluídos os valores da carreira intermediária (Hélio, 2001)

5.2 Pré-tratamento

5.2.1 Carreira 1

A Carreira 1 foi desenvolvida como controle, adequação operacional do sistema e teve duração de 84 dias. O volume de água tratado nesta carreira foi de 168 m^3 . A taxa no pré-filtro vertical ascendente foi de $18 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$, no pré-filtro vertical ascendente foi de $12 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e nos filtros lentos foi de $4 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$. As tabelas completas referentes aos parâmetros desta carreira estão apresentadas no Anexo A.

5.2.1.1 Absorvância

No pré-tratamento a eficiência para absorvância foi inferior a 21 por cento indicando baixa capacidade das unidades do pré-tratamento em reduzir o conteúdo orgânico avaliado pelo parâmetro absorvância. Na Tabela C1.1 A do Anexo A encontram-se os valores medidos durante a carreira. A variação nos valores para absorvância ao longo do período de duração da carreira pode ser visualizada na Figura 5.1.

FIGURA 5.1 Valores de absorvância para a água bruta (AB), efluente do pré-filtro dinâmico (PFD) e do pré-filtro vertical ascendente (PFVA) - Carreira 1

5.2.1.2 Carbono Orgânico Dissolvido Não-Purgável

No pré-tratamento, a eficiência do sistema foi inferior a 23 por cento. Os valores medidos para o parâmetro carbono orgânico dissolvido não-purgável, no decorrer da carreira de filtração, para as unidades de pré-tratamento, estão representados na Figura 5.2. Os valores medidos encontram-se na Tabela C1.2 A do Anexo A.

FIGURA 5.2 Valores de Carbono Orgânico Dissolvido Não-Purgável para a água bruta (AB), efluente do pré-filtro dinâmico (PFD) e do pré-filtro vertical ascendente (PFVA) - Carreira 1

5.2.1.3 Cor Verdadeira

Nas unidades de pré-tratamento, o parâmetro cor verdadeira apresentou eficiência que variou entre 27 e 68 por cento, para valores medidos na água bruta entre 34 e 65 uH. Os valores medidos estão apresentados na Tabela C1.3 A do Anexo A e na Figura 5.3. A característica da água bruta, medida através do parâmetro cor verdadeira, ficou acima do valor recomendado (95 por cento dos inferiores a 10 uH) para utilização da FiME (PROSAB, 1999).

FIGURA 5.3 Valores de Cor Verdadeira (uH) para a água bruta, efluente do pré-filtro dinâmico (PFD) e do pré-filtro vertical ascendente (PFVA) - Carreira 1

5.2.1.4 Cor Aparente

O pré-tratamento foi responsável pela eficiência de 20 a 60 por cento do valor de cor aparente da água bruta afluente ao sistema. Na Figura 5.4 pode ser visualizado o comportamento do sistema com relação ao parâmetro cor aparente para água bruta, unidades do pré-tratamento e para as unidades de filtração lenta. NA Tabela C1.4 A do Anexo A estão os valores medidos para cor aparente durante a carreira de filtração.

FIGURA 5.4 Valores de Cor Aparente (uH) para a água bruta, efluente do pré-filtro dinâmico (PFD) e o pré-filtro vertical ascendente (PFVA) - Carreira 1

5.2.1.5 Oxigênio Consumido

No pré-tratamento o conteúdo orgânico avaliado como oxigênio consumido foi reduzido de 24 a 75 por cento. A variação do parâmetro durante o tratamento está apresentada na Figura 5.5. Todos os valores medidos durante a carreira estão apresentados na Tabela C.5 A do Anexo A.

FIGURA 5.5 Valores de Oxigênio Consumido (mg/L) para a água bruta, efluente do pré-filtro dinâmico (PFD) e do pré-filtro vertical ascendente (PFVA) – Carreira 1

5.2.1.6 Coliformes Totais

Os valores da água bruta para coliformes totais excedem aos sugeridos pelo PROGRAMA DE PESQUISA EM SANEAMENTO BÁSICO - PROSAB 1999 (95 por cento das amostras do afluente devem conter valores menores que 10000 NMP/100ml) para aplicação de tecnologia de filtração em múltiplas etapas com pré-tratamento e pela NBR 12216-1992 (somente 20 por cento das amostras devem apresentar valores maiores que 5000 NMP/100mL) para tratamento de água sem coagulação química, respectivamente. No pré-tratamento ocorreu eficiência de 87,7 a 98,4 por cento para coliformes totais e pode-se notar a importância do pré-tratamento na diminuição deste parâmetro. A variação neste parâmetro durante a carreira de filtração para a água bruta e unidades da pré-filtração pode ser

observada na Figura 5.6. Os valores medidos para água bruta e unidades filtrantes podem ser observados na Tabela C1.7 A no Anexo A .

FIGURA 5.6 Valores de Coliformes Totais (NMP/100mL) para a água bruta, efluente do pré-filtro dinâmico (PFD) e do pré-filtro vertical ascendente (PFVA). - Carreira 1

5.2.1.7 *Escherichia coli*

A remoção de *Escherichia coli* no pré-tratamento foi entre 82,6 e 98,6 por cento. Os valores de *Escherichia coli* medidos na água bruta enquadram-se dentro dos recomendados para aplicação da tecnologia de filtração em múltiplas etapas com pré-tratamento (PROSAB, 1999). Os valores para *Escherichia coli* apresentados pela água bruta e unidades de pré-filtração estão apresentados na Tabela C1.7 A no anexo A. A variação ocorrida no processo de tratamento considerando o parâmetro *Escherichia coli*, pode ser observada na Figura 5.7

FIGURA 5.7 Valores de *Escherichia coli* (NMP/100mL) para a água bruta, efluente do pré-filtro dinâmico (PFD) e do pré-filtro vertical ascendente (PFVA) - Carreira 1

5.2.1.8 Nitrogênio Amoniacal

Pode-se observar pela Figura 5.8, que o conteúdo de nitrogênio amoniacal decresceu durante a sequência de unidades do pré-tratamento e a eficiência variou entre 44 e 64 por cento. Os valores medidos durante a carreira para o parâmetro nitrogênio amoniacal podem ser visualizados na Tabela C.1.9 A do Anexo A .

FIGURA 5.8 Valores de Nitrogênio Amoniacal (mg/L) para a água bruta, efluente do pré-filtro dinâmico (PFD), do pré-filtro vertical ascendente (PFVA) - Carreira 1

5.2.1.9 Nitrato

Os valores de nitrato apresentados pela água bruta estão abaixo do preconizado para o padrão de potabilidade. Pode-se notar um aumento do conteúdo de nitrato durante o processo de pré-filtração, que acompanhado pelo decréscimo do conteúdo de nitrogênio amoniacal, indica a ocorrência do processo de nitrificação. Na Figura 5.9 estão representados os valores para nitrato medidos durante a carreira de filtração.

Os valores medidos estão apresentados na Tabela C1.9 A do Anexo A .

FIGURA 5.9 Valores de Nitrato (mg/L) para a água bruta, efluente do pré-filtro dinâmico (PFD) , do pré-filtro vertical ascendente (PFVA) - Carreira 1

5.2.1.10 Turbidez

Os valores medidos para turbidez da água bruta durante a carreira foram inferiores aos propostos para aplicação da tecnologia FiME, ou seja, 100 por cento dos valores medidos inferiores a 200 UT (PROSAB, 1999). No pré-tratamento o material particulado foi removido de 20 a 76 por cento diminuindo a carga de sólidos nos filtros lentos (Tabela C1.11 A do Anexo A). Os valores medidos para turbidez podem ser visualizados na Figura 5.10.

FIGURA 5.10 Valores de Turbidez (UT) para a água bruta, efluente do pré-filtro dinâmico (PFD), do pré-filtro vertical ascendente (PFVA) - Carreira 1

5.2.1.11 Alcalinidade, pH e Oxigênio Dissolvido e Temperatura

Estes parâmetros foram medidos como controle operacional. As variações destes parâmetros ao longo do processo de filtração foram bem pequenas e não foram utilizados para avaliar eficiência do processo. A medida destes parâmetros foi interessante para justificar alguma alteração significativa que implicasse em comportamento diverso nos demais parâmetros. Durante a carreira, não houve diferença significativa nestes parâmetros. A alcalinidade na água bruta variou de 6,0 a 8,0 mg/L, o pH variou de 6,10 a 7,9; o oxigênio dissolvido variou de 6,2 a 7,9 mg/L e a temperatura de 19,5 a 26,0°C. Os valores medidos encontram-se no Anexo A (para alcalinidade Tabela C1.11 A; para pH Tabela C1.12 A; para oxigênio dissolvido Tabela C1.13 A; para temperatura Tabela C1.14 A).

5.2.1.12 Condutividade Elétrica

A diminuição no conteúdo de sólidos avaliado como condutividade foi pequena, no pré-tratamento, indicando a pouca eficiência (inferior a 3 por cento) do processo de pré-filtração. (Tabela 5.11).

TABELA 5.1 Valores de Condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$) para água bruta e efluente das unidades de pré-filtração Carreira 1

Tempo de operação (d)	Água bruta	Pré-filtro dinâmico	Pré-filtro vertical ascendente
36	17,7	16,8	18,5
51	17,9	18,2	18,2
55	17,1	15,2	17,0
58	16,9	15,0	16,3
Maximo	17,9	18,2	18,5
Mínimo	16,9	15,0	16,3

5.2.3.13 Sólidos Suspensos Totais

O conteúdo de sólidos suspensos totais medido na água bruta foi bastante inferior ao sugerido na aplicação da Tecnologia de Filtração em Múltiplas Etapas, ou seja, 100 por cento dos valores devem ser inferiores a 250 mg/L (PROSAB, 1999). A diminuição no conteúdo de sólidos suspensos foi de 56 a 83 por cento, reduzindo a carga de sólidos no sistema de filtração lenta. Os valores medidos para sólidos suspensos totais durante a carreira estão representados na Tabela C1.14A. Na Figura 5.11, estão representados os valores medidos para o conteúdo de sólidos suspensos totais.

FIGURA 5.11 Valores de Sólidos Suspensos Totais (mg/L) para água bruta (AB), efluente do pré-filtro dinâmico (PFD) e do pré-filtro vertical ascendente (PFVA) – Carreira 1

5.2.2 Carreira 2

A carreira 2 teve duração de 94 dias, com volume de água tratado na carreira de 182 m^3 perfazendo volume total tratado de 350 m^3 . O pré-filtro dinâmico operou com taxa de $18 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e o pré-filtro vertical ascendente operou com taxa de $12 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$. Não foi realizada limpeza intermediária nas unidades de pré-filtração e a carreira foi encerrada pela perda de carga nas unidades de pré-filtração. O objetivo principal desta carreira foi avaliar a remoção de atrazina pelas unidades de filtração lenta. Somente nesta carreira, a atrazina, como solução (Gesaprim) foi adicionada à montante do pré-filtro vertical ascendente; nas carreiras subseqüentes, a atrazina foi adicionada à montante dos filtros lentos, na coluna de ozonização. A adição de atrazina foi feita a partir do 7º dia de operação. As tabelas completas referentes aos parâmetros medidos nesta carreira estão apresentadas no Anexo B.

5.2.2.1 Absorvância

A diminuição de absorvância nas unidades do pré-tratamento foi inferior 43 por cento, indicando a baixa capacidade do pré-tratamento em diminuir conteúdo de matéria orgânica avaliada como absorvância. A variação nos valores para absorvância, ao longo do período de duração da carreira, para as unidades do pré-tratamento pode ser vista na Figura 5.12. Na Tabela C2. 1B do Anexo B estão apresentados todos os valores medidos durante a carreira.

FIGURA 5.12 Valores de absorvância (cm^{-1}) para a água bruta (AB), para efluente do pré-filtro dinâmico (PFD) e do pré-filtro vertical ascendente (PFVA) - Carreira 2

5.2.2.2 Carbono Orgânico Dissolvido Não-Purgável

No pré-tratamento, a diminuição de matéria orgânica avaliada como carbono orgânico dissolvido não-purgável foi inferior a 31 por cento. Os valores medidos para o parâmetro carbono orgânico dissolvido não-purgável, no decorrer da carreira de filtração, para as unidades de pré-tratamento, estão representados na Figura 5.13. Os valores medidos de carbono orgânico dissolvido para as unidades de pré-tratamento estão na Tabela C2.2B do Anexo B.

FIGURA 5.13 Valores de Carbono Orgânico Dissolvido Não-Purgável (mg/L) para a água bruta (AB), para efluente do pré-filtro dinâmico (PFD) e do pré-filtro vertical ascendente (PFVA) - Carreira 2

5.2.2.3 Cor Verdadeira

Os valores medidos para água bruta variaram de 30 a 78 uH e estão acima dos recomendados para aplicação da FiME, ou seja, que 95 por cento dos valores sejam inferiores a 10 uH (PROSAB, 1999). Nas unidades de pré-tratamento, o parâmetro cor verdadeira apresentou abatimento que variou entre 21 e 58 por cento. A diminuição na cor verdadeira ocorreu ao longo do processo de pré-tratamento. Os resultados estão apresentados na Figura 5.14. Na Tabela C2.3B estão listados todos os valores medidos para cor verdadeira durante a carreira.

FIGURA 5.14 Valores de Cor Verdadeira (uH) para a água bruta, para efluente do pré-filtro dinâmico (PFD) e do pré-filtro vertical ascendente (PFVA) - Carreira 2

5.2.2.4 Cor Aparente

O pré-tratamento foi responsável pela diminuição de 38 a 73 por cento no valor da cor aparente para valores da água bruta variando de 86 a 192 uH. Na Figura 5.15, pode ser visualizado o comportamento do sistema de pré-filtração com relação ao parâmetro cor aparente. Ocorreu redução da cor aparente ao longo do processo de pré-filtração. Na

Tabela C2. 4B do Anexo B, estão apresentados todos os valores medidos durante a carreira de filtração.

FIGURA 5.15 Valores de Cor Aparente (uH) para a água bruta, para efluente do pré-filtro dinâmico (PFD) e do pré-filtro vertical ascendente (PFVA) - Carreira 2

5.2.2.5 Oxigênio Consumido

No pré-tratamento ocorreu diminuição do conteúdo orgânico avaliado como oxigênio consumido. A eficiência ficou entre 32 a 75 por cento (Tabela C.2.5B do Anexo B). Os valores nominais medidos durante a carreira de filtração estão representados na Figura 5.16. Pode-se observar redução da matéria orgânica ao longo do processo de pré-tratamento com o pré-filtro vertical ascendente apresentando efluente com melhor qualidade.

FIGURA 5.16 Valores de Oxigênio Consumido (mg/L) para a água bruta, para efluente do pré-filtro dinâmico (PFD) e do pré-filtro vertical ascendente (PFVA) - Carreira 2

5.2.2.6 Bactérias Heterotróficas

Durante o processo de pré-tratamento, ocorreu remoção de 77,2 a 93,1 por cento de microrganismos avaliados como bactérias heterotróficas. Na Figura 5.18 podem ser visualizados os valores medidos para bactérias heterotróficas. Os valores medidos durante toda a carreira de filtração estão apresentados na Tabela C.2.6B do Anexo B.

FIGURA 5.17 Valores de Bactérias Heterotróficas (UFC/100 mL) para água bruta, para efluente do pré-filtro dinâmico (PFD) e do pré-filtro vertical ascendente (PFVA) - Carreira 2

5.2.2.7 Coliformes Totais

Os valores da água bruta para coliformes totais estão dentro dos limites sugeridos por PROSAB, 1999 (95 por cento das amostras com valores inferiores a 10000 NMP/100ml) e pela NBR 12216, 1992 (20 por cento das amostras com valores inferiores a 5000 NMP/100mL) para aplicação de tecnologia de filtração em múltiplas etapas com pré-tratamento, e para tratamento de água sem coagulação química, respectivamente. Os valores medidos durante a carreira de filtração estão apresentados na Tabela C2.7.B do anexo B e na Figura 5.18.

FIGURA 5.18 Valores de Coliformes Totais (NMP/100mL) para a água bruta, para efluente do pré-filtro dinâmico (PFD) e do pré-filtro vertical ascendente (PFVA) - Carreira 2

5.2.2.8 *Escherichia coli*

Os valores de *Escherichia coli* apresentados pela água bruta enquadraram-se dentro dos recomendados para aplicação da tecnologia de filtração em múltiplas etapas, com pré-tratamento, 95 por cento dos dados menores que 5000 NMP/100 mL (PROSAB, 1999). Os valores medidos podem ser visualizados na Figura 5.19.

FIGURA 5.19 Valores de *Escherichia coli* (NMP/100mL) para a água bruta, para efluente do pré-filtro dinâmico (PFD) e do pré-filtro vertical ascendente (PFVA) - Carreira 2

Os valores para *Escherichia coli* (NMP/100mL) apresentados pela água bruta e unidades de pré-filtração estão apresentados na Tabela C2.8 B do anexo B.

5.2.2.9 Nitrogênio Amoniacal

Pode-se observar na Figura 5.20 que o conteúdo de nitrogênio amoniacal decresceu ao longo do processo de pré-tratamento com eficiência entre 44 e 91 por cento. Todos os valores medidos encontram-s na Tabela C2.9B do Anexo B.

FIGURA 5.20 Valores de Nitrogênio Amoniacal (mg/L) para a água bruta, para efluente do pré-filtro dinâmico (PFD) e do pré-filtro vertical ascendente (PFVA) - Carreira 2

5.2.2.10 Nitrato

Os valores de nitrato apresentados pela água bruta e efluente das unidades filtrantes estão abaixo do preconizado para o padrão de potabilidade brasileiro. Pode-se notar um aumento do conteúdo de nitrato durante o processo de pré-filtração e diminuição do nitrogênio amoniacal, indicando ocorrência de nitrificação nas unidades de pré-tratamento (Figura 5.21). Os valores medidos estão apresentados na Tabela C10.B do Anexo B.

FIGURA 5.21 Valores de Nitrato (mg/L) para a água bruta, para efluente do pré-filtro dinâmico (PFD) e do pré-filtro vertical ascendente (PFVA) - Carreira 2

5.2.2.11 Turbidez

Os valores medidos para turbidez da água bruta, durante a carreira foram inferiores aos propostos para aplicação da tecnologia FIME, ou seja, 100 por cento dos valores medidos inferiores a 200 UT. No pré-tratamento, o material particulado medido como turbidez foi removido de 30 a 81 por cento diminuindo a carga de sólidos nos filtros lentos (Tabela C.2.12 B do Anexo B). Na Figura 5.22 pode-se visualizar o comportamento do parâmetro medido.

FIGURA 5.22 Valores de Turbidez (UT) para a água bruta, para efluente do pré-filtro dinâmico (PFD) e do pré-filtro vertical ascendente (PFVA) - Carreira 2

5.2.2.12 Alcalinidade, pH, Oxigênio Dissolvido, Temperatura

Os parâmetros alcalinidade, pH, temperatura e oxigênio dissolvido não apresentaram variações que pudessem alterar o processo de pré-filtração e foram medidos para controle operacional do sistema. Todos os valores medidos encontram-se no Anexo B, nas Tabelas C.2.12B para a alcalinidade, C.2.13B para o pH, C.2.14B para o oxigênio dissolvido e C.2.15B para a temperatura. Nas Tabelas 5.2, 5.3, 5.4 e 5.5 estão os valores nominais máximos e mínimos para alcalinidade, pH, oxigênio dissolvido e temperatura respectivamente.

TABELA 5.2 Valores de Alcalinidade (mg/L) para água bruta e efluente das unidades de pré-filtração - Carreira 2

	Água bruta	Pré-filtro dinâmico	Pré-filtro vertical ascendente
Máximo	8,3	7,8	8,3
Mínimo	6,3	6,3	5,5

TABELA 5.3 Valores de pH para água bruta e efluente das unidades de pré-filtração - Carreira 2

	Água bruta	Pré-filtro dinâmico	Pré-filtro vertical ascendente
Máximo	7,5	7,6	7,7
Mínimo	6,7	6,8	6,8

TABELA 5.4 Valores de Oxigênio Dissolvido (mg/L) para água bruta e efluente das unidades de pré-filtração - Carreira 2

	Água bruta	Pré-filtro dinâmico	Pré-filtro vertical ascendente
Máximo	9,0	8,8	8,8
Mínimo	7,5	7,5	6,8

TABELA 5.5 Valores de Temperatura (°C) para água bruta e efluente das unidades de pré-filtração - Carreira 2

	Água bruta	Pré-filtro dinâmico	Pré-filtro vertical ascendente
Máximo	21,0	22,5	25,0
Mínimo	13,0	13,0	12,0

5.2.2.13 Atrazina

A eficiência na remoção de atrazina apresentada pelo efluente do pré-filtro vertical ascendente foi inferior a 55 por cento não diminuindo significativamente a concentração de atrazina efluente. Esta condição de baixa diminuição no conteúdo da atrazina assemelha-se aos resultados obtidos por WOULDNEH et al. (1996). Os valores medidos podem ser visualizados na Figura 5.23. A Tabela 5.28 apresenta os valores medidos para atrazina na unidade de pré-filtração.

FIGURA 5.23 Valores Atrazina ($\mu\text{g/L}$) para o afluente e efluente do pré-filtro vertical ascendente (PFVA) – Carreira 2

TABELA 5.6 Valores de Atrazina ($\mu\text{g/L}$) para afluente e efluente do pré-filtro vertical ascendente (PFVA) - Carreira 2

Tempo operação (d)	Afluente ao PFVA	Efluente do PFVA
14	0,396	0,177
18	4,624	5,099
25	15,000	15,000
33	0,816	0,677
63	24,000	19,370
68	209,840	146,344
76	269,000	287,180
82	219,000	200,000
93	1,320	1,136
94	0,958	2,340
Máximo	269,000	287,180
Mínimo	0,396	0,177

5.2.3 Carreira 3

Esta carreira foi iniciada após 263 dias de operação contínua do sistema de tratamento, com volume de água tratado de 518 m^3 , com duração de 21 dias. A taxa de filtração no pré-filtro vertical ascendente foi de $12 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e o pré-filtro dinâmico operou com taxa de $18 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$. O período de realização desta carreira foi de 20 de novembro a 11 de dezembro de 2000, caracterizado por período de chuvas e conseqüente piora na qualidade da água bruta afluyente, reduzindo o período de operação da carreira. As tabelas com todos os valores medidos nesta carreira estão apresentadas no Anexo C.

5.2.3.1 Absorvância

O pré-tratamento não foi eficaz na eficiência da absorvância que foi inferior a 10 por cento. A variação nos valores para absorvância ao longo da carreira pode ser vista na Figura 5.24. Na Tabela C3.1C, no Anexo C, encontram-se os valores medidos para absorvância, durante a carreira de filtração.

FIGURA 5.24 Valores de absorvância (cm^{-1}) para água bruta (AB), efluente do pré-filtro dinâmico (PFD) e do pré-filtro vertical ascendente (PFVA) – Carreira 3

5.2.3.2 Carbono Orgânico Dissolvido Não-Purgável

A eficiência do conteúdo de carbono orgânico dissolvido não purgável no pré-tratamento foi inferior a 52 por cento, confirmando os resultados apresentados pela literatura de que o pré-tratamento é bastante eficiente na remoção de matéria particulada. Os valores medidos para o parâmetro carbono orgânico dissolvido não-purgável, no decorrer da carreira de filtração, estão representados na Figura 5.25. As unidades de pré-filtração não foram capazes de reduzir o conteúdo orgânico presente na água bruta, ficando a maior eficiência para as unidades de filtração lenta. Todos os valores medidos para o carbono orgânico dissolvido não-purgável encontram-se Tabela C 3.2C do Anexo C.

FIGURA 5.25 Valores de Carbono Orgânico Dissolvido Não-Purgável (mg/L) para água bruta (AB), efluente do pré-filtro dinâmico (PFD) e do pré-filtro vertical ascendente (PFVA) – Carreira 3

5.2.3.3 Cor Verdadeira

Os valores apresentados na água bruta para cor verdadeira estão acima dos recomendados para aplicação da FIME, ou seja, 100 por cento dos valores medidos no afluente ao sistema menor que 25 uH (PROSAB, 1999). A abatimento na cor verdadeira ocorreu ao longo das unidades de pré-filtração e variou entre 11 e 38 por cento para valores nominais na água bruta entre de 64 a 125 uH. Os resultados estão apresentados na Figura 5.26. Os valores medidos encontram-se na Tabela C3.3C do Anexo C.

FIGURA 5.26 Valores de Cor Verdadeira (uH) para água bruta (AB), efluente do pré-filtro dinâmico (PFD) e do pré-filtro vertical ascendente (PFVA) – Carreira 3

5.2.3.4 Cor Aparente

Houve diminuição da cor aparente ao longo do processo de pré-filtração, com eficiência entre 22 e 50 por cento no valor da cor aparente, para água bruta variando de 206 a 770 uH. Na Figura 5.27, pode ser visualizado o comportamento do sistema com relação ao parâmetro cor aparente que foi semelhante ao parâmetro cor verdadeira. Os valores medidos para efluente das unidades de pré-filtração e de filtração lenta estão no Anexo C, Tabela C 3.4C.

FIGURA 5.27 Valores de Cor Aparente (uH) para água bruta (AB), efluente do pré-filtro dinâmico (PFD) e do pré-filtro vertical ascendente (PFVA) – Carreira 3

5.2.3.5 Oxigênio Consumido

No pré-tratamento houve decréscimo de 29 a 35 por cento do conteúdo orgânico avaliado como oxigênio consumido (Tabela C3.5C do Anexo C). Os valores nominais medidos durante a carreira foram apresentados na Figura 5.28.

FIGURA 5.28 Valores de Oxigênio Consumido (mg/L) para água bruta (AB), efluente do pré-filtro dinâmico (PFD) e do pré-filtro vertical ascendente (PFVA) – Carreira 3

5.2.3.6 Coliformes Totais

Os valores da água bruta para coliformes totais não se enquadraram dentro dos limites sugeridos por PROSAB (1999), ou seja, que 95 por cento das amostras apresentem número de coliformes totais inferiores a 10000 NMP/100ml, e os estabelecidos pela NBR 12216 (1992), que somente 20 por cento das amostras tenham valores maiores que 5000 NMP/100mL, para aplicação de tecnologia de filtração em múltiplas etapas com pré-tratamento, e para tratamento de água sem coagulação química, respectivamente. O pré-tratamento contribuiu para eficiência de coliformes que variou entre de 77 e 95 por cento (Tabela C 3.6C do Anexo C). A variação, neste parâmetro durante a carreira de filtração pode ser observada na Figura 5.29.

FIGURA 5.29 Valores de Coliformes Totais (NMP/100mL) para água bruta (AB), efluente do pré-filtro dinâmico (PFD) e do pré-filtro vertical ascendente (PFVA) – Carreira 3

5.2.3.7 *Escherichia coli*

Os valores de *Escherichia coli* apresentados pela água bruta enquadraram-se dentro dos recomendados para aplicação da tecnologia de filtração em múltiplas etapas com pré-tratamento. Houve eficiência de *Escherichia coli* ao longo do pré-tratamento que variou de 68 a 97 por cento, diminuindo o acesso destes microrganismos ao sistema de filtração lenta. Na Figura 5.30 estão representados os valores medidos. Os valores para *Escherichia coli* estão apresentados na Tabela C 3.7C, no anexo C.

FIGURA 5.30 Valores de *Escherichia coli* (NMP/100mL) para água bruta (AB), efluente do pré-filtro dinâmico (PFD) e do pré-filtro vertical ascendente (PFVA) – Carreira 3

5.2.3.8 Nitrogênio Amoniacal

Pode-se observar, pela Figura 5.31, que o conteúdo de nitrogênio amoniacal decresceu durante o processo de pré-tratamento, e a eficiência variou entre 13 e 36 por cento. Na Tabela C3.8C do Anexo C, encontram-se os dados medidos durante a carreira de filtração.

FIGURA 5.31 Valores de Nitrogênio Amoniacal (mg/L) para água bruta (AB), efluente do pré-filtro dinâmico (PFD) e do pré-filtro vertical ascendente (PFVA) – Carreira 3

5.2.3.9 Nitrato

Os valores de nitrato apresentados pela água bruta e efluente das unidades de pré-filtração estão abaixo do preconizado para o padrão de potabilidade. Pode-se notar um aumento do conteúdo de nitrato durante o processo de pré-filtração, que acompanhado da eficiência de nitrogênio amoniacal indica que ocorreu o processo de nitrificação nas unidades de pré-tratamento (Figura 5.32). Os valores medidos estão apresentados na Tabela C3.9C no Anexo C.

FIGURA 5.32 Valores de Nitrato (mg/L) para água bruta (AB), efluente do pré-filtro dinâmico (PFD) e do pré-filtro vertical ascendente (PFVA) – Carreira 3

5.2.3.10 Turbidez

Os valores medidos para turbidez da água bruta, durante a carreira não se enquadram dentro dos limites estabelecidos para utilização da tecnologia de filtração em múltiplas etapas, ou seja, 95 por cento dos valores inferiores a 100 UT (PROSAB, 1999). A faixa de variação foi de 22,1 a 181,0 UT, com 80 por cento dos valores inferiores a 100 UT. No pré-tratamento o material particulado medido como turbidez foi removido de 23 a 63 por cento (Tabela C3.11C do Anexo C). A variação no efluente acompanhou a variação ocorrida na água bruta. Na Figura 5.33 estão representados os valores medidos para turbidez.

FIGURA 5.33 Valores de Turbidez (uT) para água bruta (AB), efluente do pré-filtro dinâmico (PFD) e do pré-filtro vertical ascendente (PFVA) – Carreira 3

5.2.3.11 Condutividade Elétrica

O abatimento no conteúdo de sólidos avaliado como condutividade foi pequena, no pré-tratamento, indicando a pouca eficiência do processo de pré-filtração no decréscimo de sólidos dissolvidos (eficiência inferior a 18 por cento - Tabela 5.39).

TABELA 5.7 Valores de Condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$) e de Eficiência (%) - Carreira 3

Tempo operação (d)	Água bruta	Pré-filtro filtro dinâmico	Pré-filtro vertical ascendente	Eficiência (%) Pré- tratamento
3	13,9	13,3	12,6	9
17	17,7	15,3	14,5	18
21	17,1	16,9	18,0	<0

5.2.3.12 Sólidos Suspensos Totais

O conteúdo de sólidos suspensos totais medido na água bruta foi bastante inferior ao sugerido na aplicação da Tecnologia de Filtração em Múltiplas Etapas, ou seja, 100 por cento dos valores devem ser inferiores a 250 mg/L. A eficiência no conteúdo de sólidos suspensos foi de 56 a 83 por cento, reduzindo a carga de sólidos no sistema de filtração lenta (Tabela 5.40). Na Figura 5.34, estão representados os valores medidos para o conteúdo de sólidos suspensos totais.

FIGURA 5.34 Valores de Sólidos Suspensos Totais (mg/L) para água bruta (AB), efluente do pré-filtro dinâmico (PFD) e do pré-filtro vertical ascendente (PFVA) – Carreira 3

5.2.3.13 Alcalinidade, pH, Oxigênio Dissolvido e Temperatura

Estes parâmetros foram medidos ao longo do processo de pré-tratamento, como controle operacional do sistema. A alcalinidade da água bruta variou entre 4,6 e 6,7 mg/L e o pH ficou entre 6,9 e 7,2. O oxigênio dissolvido na água bruta variou entre 7,1 e 7,6 e no efluente do pré-tratamento a variação foi de 6,8 a 7,3 mg/L, ficando dentro da faixa utilizada pelos microrganismos. A temperatura da água bruta variou de 23 a 26°C. Os valores medidos estão presentes nas Tabelas do Anexo C: para alcalinidade (Tabela C 3.10C); para pH

(Tabela C 3.11C); para Temperatura (Tabela C 3.12C) e para Oxigênio Dissolvido (Tabela C 3.13C).

5.2.3.14 Considerações gerais sobre o processo de pré-tratamento

Durante o período de realização das três carreiras iniciais do trabalho, ocorreram variações na qualidade da água bruta e os resultados obtidos foram comparados em termos de eficiência dos parâmetros, uma vez que o valor apresentado pelo efluente é função da qualidade da água bruta e das limitações do sistema que operou em condições de intervalo de variação, nas características da água bruta bastante amplo. Os valores de eficiência discutidos referem-se a todo o período decorrido entre as Carreiras 1 a 3.

O sistema de pré-filtração apresentou eficiência no conteúdo de turbidez entre 20 e 81 por cento e eficiência de sólidos suspensos totais entre 46 e 93 por cento. Para conteúdo de nitrogênio, pode-se observar a eficiência de nitrogênio amoniacal e aumento do conteúdo de nitrato, indicando que ocorreu o processo de nitrificação. No conteúdo orgânico avaliado como oxigênio consumido ocorreu eficiência entre 24 e 75 por cento; para absorvância, a eficiência foi inferior a 43 por cento e para carbono orgânico dissolvido não-purgável foi inferior a 57 por cento. A cor verdadeira apresentou eficiência que variou entre 11 a 68 por cento e para cor aparente a eficiência ficou entre 20 e 73 por cento. A pré-filtração apresentou eficiência bastante elevada na concentração de microrganismos. Para os coliformes totais a eficiência ficou entre 76,8 e 98,4 por cento, para *Escherichia coli* a eficiência variou entre 65,5 e 99,0 por cento e para bactérias heterotróficas a eficiência ficou entre 77,2 e 93,1 por cento. Somente nesta carreira foi adicionado atrazina à montante do pré-filtro vertical ascendente e foi observado que esta unidade não reduz o conteúdo de atrazina conforme resultado encontrado também por WOULDNEH et al., 1996.

Pode-se observar a importância do pré-tratamento na eficiência de sólidos e de microrganismos. Com estes resultados, considera-se que as condições de operação do pré-tratamento ficaram bastante conhecidas, e decidiu-se, então, nas carreiras subsequentes, coletar amostras para a água bruta e efluente do pré-tratamento, apenas como controle operacional e não para avaliação da eficiência do sistema.

5.3 Pré-oxidação com ozônio

5.3.1 Considerações Iniciais

Neste item serão discutidos os dados obtidos nas Carreiras 4 e 5, quando foi utilizada a pré-oxidação com ozônio. Os pontos de coleta foram à montante da coluna de ozonização (MC), que era o efluente do pré-filtro dinâmico, e à jusante da coluna de ozonização (JC). As condições hidráulicas na coluna permaneceram constantes. Na Carreira 4 o tempo de contato médio foi de 12,5 minutos e, na Carreira 5, o tempo de contato médio foi de 8,5 minutos.

5.3.2 Carreira 4

5.3.2.1 Absorvância e Oxigênio Consumido

Para absorvância e oxigênio consumido a dose que implicou em eficiência no conteúdo orgânico avaliado por estes dois parâmetros foi a dose de ozônio consumida de 2,1 mg/L. Os valores podem ser visualizados na Tabela 5.41 e nas Figuras 5.35 e 5.36.

FIGURA 5.35 Valores de absorvância (cm^{-1}) para efluente da pré-filtração (montante da coluna - MC) e para efluente ozonizado (jusante da coluna - JC) - Carreira 4

FIGURA 5.36 Valores de Oxigênio Consumido (mg/L) para efluente da pré-filtração (montante da coluna - MC) e para efluente ozonizado (jusante da coluna - JC) - Carreira 4

TABELA 5.7 Valores para absorvância (cm^{-1}) e Oxigênio Consumido (OC-mg/L) para afluente e efluente da coluna de ozonização – Carreira 4

Parâmetros	Tempo de operação (d)	Montante coluna	Jusante coluna	Eficiência (%)	Dose O3 consumida (mg/L)
				Pré- ozonização	
Absorvância	43	0,102	0,094	8	1,4
	52	0,110	0,097	12	2,1
OC (mg/L)	43	5,2	4,3	17	1,4
	52	1,1	0,0	100	2,1

5.3.2.2 Cor Verdadeira

A pré-ozonização reduziu a cor verdadeira para valores que variaram de 10 a 70 uH, com eficiência entre 19 e 71 por cento (Tabela 5.8). A maior remoção ocorreu para dose de ozônio consumida de 2,4 mg/L e coincidiu, também, com a condição de menor valor de cor verdadeira no afluente. Os valores medidos estão representados na Figura 5.37.

TABELA 5.8 Valores de Cor Verdadeira (uH) para afluente (MC) e efluente (JC) da coluna ozonização e de Eficiência (%) – Carreira 4

Tempo de operação (d)	Montante da coluna	Jusante coluna	<u>Eficiência (%)</u>	Dose O3 consumida (mg/L)
			Pré- ozonização	
43	86	70	19	1,4
52	60	42	30	2,1
53	35	10	71	2,4
48	71	52	27	2,5
Máximo	86	70	71	2,5
Mínimo	35	10	19	1,4

FIGURA 5.37 Valores de Cor Verdadeira (uH) para efluente da pré-filtração (montante da coluna - MC) e para efluente ozonizado (jusante da coluna - JC) - Carreira 4

5.3.2.3 Cor Aparente

A eficiência do pré-tratamento ficou entre 10 e 26 por cento, ocorrendo aumento na eficiência com o aumento na dosagem de ozônio consumida (Tabela 5.9). Na pré-oxidação, a eficiência foi maior para a dose de ozônio aplicada superior a 1,4 mg/L. Na Figura 5.38 pode ser visualizado o comportamento do sistema com relação ao parâmetro cor aparente.

FIGURA 5.38 Valores de Cor Aparente (uH) para efluente da pré-filtração (montante da coluna - MC) e para efluente ozonizado (jusante da coluna - JC) - Carreira 4

TABELA 5.9 Valores de Cor Aparente (mg/L) para afluentes (MC) e efluente (JC) da coluna ozonização e de Eficiência (%) – Carreira 4

Tempo de operação (d)	Montante coluna	Jusante coluna	Eficiência (%) Pré-ozonização	Dose O3 consumida (mg/L)
37	184	164	...	...
43	187	170	9	1,4
52	125	93	26	2,1
53	125	98	22	2,4
48	124	99	20	2,1
Máximo	187	170	26	2,4
Mínimo	124	93	9	1,4

5.3.2.4 Coliformes Totais e *Escherichia coli*

Para a dose de 1,4 mg/L, o efluente ozonizado apresentou valor para coliforme total igual a 4 NMP/100 mL, para valor no afluente igual a 8164 NMP/100 mL (Tabela 5.10). No efluente ozonizado os valores foram nulos para coliformes totais, para dose de 2,1 mg/L, para tempo de contato na coluna de ozonização igual a 12 minutos. Os dados podem ser visualizados na Tabela 5.10. Para *Escherichia coli*, para as doses de ozônio consumido entre 1,4 e 2,1 mg/L, o efluente apresentou valores nulos para afluente com valores entre 19 e 84 NMP/100 mL.

TABELA 5.10 Valores de Coliformes Totais (NMP/100mL) para afluentes (MC) e efluente (JC) da coluna ozonização e de Eficiência (%) – Carreira 4

Tempo de operação (d)	Montante coluna	Jusante coluna	Dose O3 consumida (mg/L)
43	8164	4	1,4
52	397	0	2,1
54	261	0	2,1

5.3.2.5 Nitrogênio Amoniacal e Nitrato

Nesta carreira, só foi possível uma medida de nitrogênio amoniacal e de nitrato para dose de ozônio consumida igual a 2,1 mg/L. Esta dosagem proporcionou eficiência inferior a 6 por cento no conteúdo de amoniacal e de nitrato medido no efluente da coluna de ozonização.

TABELA 5.11 Valores de Nitrogênio Amoniacal e Nitrato (NMP/100mL) para afluentes (MC) e efluente da coluna de ozonização e de Eficiência(%) - Carreira 4

Parâmetro (mg/L)	Montante coluna	Jusante coluna	Eficiência (%)
Nit. Amoniacal	0,17	0,16	6
Nitrato	0,75	0,74	2

5.3.2.6 pH, Temperatura e Oxigênio Dissolvido

Houve diminuição no pH do efluente ozonizado, para as doses de ozônio consumida que variaram de 1,4 a 2,5 mg/L. Ver Tabela C4.1D do Anexo D. A temperatura da água bruta variou

de 23 a 26,5 °C e os demais valores medidos para temperatura, durante a carreira de filtração estão presentes na Tabela C4.2D do Anexo D.

Para as condições de ozonização, a concentração de oxigênio dissolvido aumentou no efluente da coluna de ozonização. Isto ocorreu devido à contribuição do ozônio adicionado na coluna de ozonização pela decomposição do ozônio (Tabela 5.12).

TABELA 5.12 Valores de Oxigênio Dissolvido (mg/L) para montante e jusante da coluna - Carreira 4

Tempo de operação (d)	Montante coluna	Jusante coluna	Dose O3 consumida (mg/L)
37	6,9	6,9	...
43	7,2	17,4	1,4
51	7,4	18,5	2,1

5.3.2.7 Atrazina

A pré-oxidação, com dose de ozônio consumida igual a 1,4 mg/L, proporcionou no efluente eficiência média de 47 por cento. Para dose de ozônio consumido de 2,1 e 2,2 mg/L, a eficiência média no conteúdo de atrazina foi de 88 por cento (Tabela 5.13). Somente a ozonização não reduziu o conteúdo para valores inferiores a 2,0 µg/L no efluente ozonizado (Figura 5.39).

FIGURA 5.39 Valores Atrazina (µg/L) para o montante da coluna de ozonização (MC) para efluente da coluna de ozonização (JC) – Carreira 4

TABELA 5.13 Valores de Atrazina (µg/L) para montante e jusante da coluna de ozonização e de Eficiência (%) – Carreira 4

Tempo de operação (d)	Montante coluna	Jusante coluna	<u>Eficiência (%)</u> Jusante coluna	Dose O3 consumida (mg/L)
38	82,040	...	...	...
43	108,810	57,730	46,9	1,4
48	1,960	1,024	47,8	1,4
52	72,628	13,855	80,9	2,1
54	124,740	5,170	95,9	2,1
Máximo	124,740	57,730	95,9	2,1
Mínimo	1,960	1,024	46,9	1,4

5.3.2.8 Subprodutos

O subproduto atrazina desetil (CIAT) estava presente no afluente à coluna de ozonização em todas as amostras coletadas. A atrazina desisopropil (CEAT) e a atrazina desetil-2-hidroxi (OIAT) alternaram entre ocorrência e não-ocorrência no afluente. Para as doses de ozônio aplicado de 1,4 a 2,2 mg/L, as concentrações dos metabólitos aumentaram como subprodutos da oxidação da atrazina (Tabela 5.14). Os subprodutos apresentaram maior concentração no afluente e no efluente ozonizado nesta ordem: atrazina desetil, atrazina desetil-2-hidroxi (OIAT) e atrazina desisopropil (CEAT). Na Figura 5.40, está apresentado o comportamento da atrazina desetil, na Figura 5.41 o comportamento atrazina desisopropil e na Figura 5.42 o comportamento do atrazina desetil-2-hidroxi (OIAT).

TABELA 5.14 Valores dos subprodutos: atrazina desetil (CIAT), atrazina desisopropil (CEAT) e atrazina desetil-2-hidroxi (OIAT) ($\mu\text{g/L}$) para montante e jusante da coluna de ozonização – Carreira 4

Metabólito	Tempo de operação (d)	Dose O_3 consumida(mg/L)	CIAT		CEAT		OIAT	
			Montante coluna	Jusante coluna	Montante coluna	Jusante coluna	Montante coluna	Jusante coluna
	43	1,4	0,046	1,600	0,044	0,267	0,003	0,264
	48	1,4	0,015	1,498	—	0,266	0,032	0,161
	52	2,1	0,045	1,671	—	0,087	—	0,002
	54	2,2	0,129	0,696	0,056	0,251	0,125	0,517
Máximo		2,2	0,129	1,671	0,056	0,267	0,125	0,517
Mínimo		1,4	0,015	0,696	0,044	0,087	0,003	0,002

FIGURA 5.40 Valores atrazina desetil ($\mu\text{g/L}$) para montante da coluna de ozonização (MC), para efluente da coluna de ozonização (JC) – Carreira 4

FIGURA 41 Valores atrazina desisopropil (µg/L) para o montante da coluna de ozonização (MC), para efluente da coluna de ozonização (JC) – Carreira 4

FIGURA 5.42 Valores atrazina desetil-2-hidroxi (µg/L) para o montante da coluna de ozonização (MC), para efluente da coluna de ozonização (JC) – Carreira 4

5.3.3 Carreira 5

5.3.3.1 Absorvância

A variação nos valores para absorvância e a variação das doses de ozônio consumida podem ser vistas na Figura 5.43. Valores menores para absorvância foram observados para dose de ozônio entre 3,7 e 3,8 mg/L. Para variação da dose de ozônio consumida utilizada não ocorreu diferença significativa entre o efluente ozonizado e o afluente.

FIGURA 5.43 Valores de absorvância para afluente (MC) e efluente da pré-oxidação (JC) e dose de ozônio consumida (mg/L) - Carreira 5

Na Tabela 5.15 estão apresentados os valores nominais e de eficiência, máximos e mínimos, para o afluente e efluente da coluna de ozonização e na Tabela C5.1E estão presentes todos os valores medidos durante a carreira. Estes resultados estão em concordância com os obtidos para na Carreira 4.

Tabela 5.15 Valores máximos e mínimos de Absorvância (UV-254 nm - cm-1) para afluente (MC) e efluente (JC) da coluna de ozonização - Carreira 5

	Montante coluna	Jusante coluna	Dose O3 (mg/L)
Máximo	0,059	0,052	0,9
Mínimo	0,050	0,036	0,9
Máximo	0,062	0,055	2,2
Mínimo	0,047	0,038	1,6
Máximo	0,061	0,049	3,1
Mínimo	0,046	0,038	2,7
Máximo	0,066	0,046	3,8
Mínimo	0,046	0,035	3,7

5.3.3.2 Carbono Orgânico Dissolvido Não-Purgável - CODNP

Na pré-oxidação a eficiência foi inferior a 15 por cento para dose de ozônio consumida entre 1,6 a 2,2 mg/L ficando a maior eficiência para as unidades de filtração lenta (Tabela 5.49 e Tabela C5.2E do Anexo E). Os valores medidos para o parâmetro carbono orgânico dissolvido não-purgável, no decorrer da carreira de filtração estão representados na Figura 5.44

TABELA 5.16 Valores máximos e mínimos de Carbono Orgânico Dissolvido Não-Purgável (mg/L) para afluente (MC) e efluente (JC) da coluna de ozonização e de Eficiência (%) - Carreira 5

	Montante coluna	Jusante coluna	Dose O3 (mg/L)
Máximo	0,9	1,1	0,9
Mínimo	0,8	0,8	0,9
Máximo	2,0	1,7	2,2
Mínimo	0,9	0,9	1,6
Máximo	1,6	1,5	3,1
Mínimo	1,1	1,0	2,4
Máximo	1,2	1,3	3,8
Mínimo	1,0	1,2	3,8
Máximo oxidação	2,0	1,7	3,8
Mínimo oxidação	0,8	0,8	0,9

FIGURA 5.44 Valores de Carbono Orgânico Dissolvido Não-Purgável para efluente do pré-tratamento (MC), efluente da pré-oxidação (JC) e dose de ozônio consumida (mg/L) - Carreira 5

5.3.3.3 Cor Verdadeira

Os menores valores no efluente da pré-ozonização foi para dose de ozônio consumida entre 0,9 e 2,8 mg/L (Tabela 5.17 e Tabela C5.3E do Anexo F). Na Figura 5.45, pode-se verificar que, nas condições operacionais estudadas, a eficiência produzida no conteúdo orgânico avaliado como cor verdadeira foi inferior a 43 por cento.

FIGURA 5.45 Valores de Cor Verdadeira (uH) para afluente (MC) e efluente da coluna de oxidação (JC) e dose de ozônio consumida (mg/L) - Carreira 5

TABELA 5.17 Valores máximos e mínimos de Cor Verdadeira (uH) para afluente (MC) e efluente (JC) da coluna de ozonização e de dose de ozônio consumida (mg/L) - Carreira 5

	Montante coluna	Jusante coluna	Dose O3
Máximo	54	43	0,9
Mínimo	22	15	0,9
Máximo	42	38	2,2
Mínimo	24	19	1,6
Máximo	51	43	3,0
Mínimo	19	14	2,5
	30	20	3,7
	34	22	3,7

5.3.3.4 Cor Aparente

No processo de Filtração em Múltiplas Etapas utilizando-se ou não a pré-oxidação, não houve abatimento da cor aparente a valores que se enquadrem dentro do padrão de potabilidade com valor máximo permitido de 15 uH (Tabelas 5.18 e C5.4E do Anexo E). Na Figura 5.46, pode-se visualizar os valores medidos para a cor aparente, para o afluente e efluente da coluna de ozonização. Os menores valores e maior eficiência ocorreram para dose de ozônio consumida que variou entre 3,5 a 3,7 mg/L. Para as condições operacionais estudadas a ozonização produziu eficiência inferior a 24 por cento.

TABELA 5.18 Valores máximos e mínimos de Cor Aparente (uH) para afluente (MC) e efluente da coluna de oxidação (JC) e dose de ozônio consumida (mg/L) e de Eficiência (%) - Carreira 5

	Montante coluna	Jusante coluna	Eficiência (%) Pré- oxidação	Dose O3 (mg/L)
Máximo	89	76	21	0,9
Mínimo	63	54	9	0,8
Máximo	89	75	21	2,2
Mínimo	62	50	11	1,6
Máximo	118	80	24	3,3
Mínimo	51	40	0	2,5
	65	53	18	3,5
	49	37	24	3,7

FIGURA 5.46 Valores de Cor Aparente (uH) para afluente (MC) e efluente da coluna de oxidação (JC) e dose de ozônio consumida (mg/L) - Carreira 5

5.3.3.5 Oxigênio Consumido

No efluente da pré-oxidação a eficiência variou entre 19 e 61 por cento do conteúdo de matéria orgânica avaliada como oxigênio consumido, com menor valor e maior eficiência para dose de ozônio consumida igual a 2,4 mg/L (Tabela 5.19 e Tabela C5.7.E do Anexo E). Os valores nominais medidos durante a carreira estão representados na Figura 5.47.

FIGURA 5.47 Valores de Oxigênio Consumido (mg/L) para efluente do pré-tratamento (MC), efluente da pré-oxidação (JC) e dose de ozônio consumida (mg/L) - Carreira 5

TABELA 5.19 Valores de Oxigênio Consumido (mg/L) para afluente (MC) e efluente da coluna de oxidação (JC), de dose de ozônio consumida (mg/L) e de Eficiência (%) - Carreira 5

Tempo operação (d)	Montante coluna	Jusante coluna	Eficiência (%)	
			Pré- oxidação	O3 (mg/L)
63	1,1	0,9	19	0,9
71	1,0	0,7	26	2,2
56	1,2	0,5	61	2,4
50	1,1	0,8	32	3,8

5.3.3.6 Bactérias Heterotróficas

Na pré-oxidação para valores do afluente, variando de 28 a 56 UFC/100 mL e dose de ozônio consumida, variando de 1,8 a 2,7 mg/L, 100 por cento dos valores foram menores ou iguais a 5 UFC/100mL. A maior eficiência ocorreu para dose de ozônio consumida igual a 2,4 mg/L. Para oxigênio consumido a melhor condição de ozonização ocorreu também para a mesma dose de ozônio consumida. A Figura 5.48 apresenta os valores medidos para o efluente pré-ozonização (jusante da coluna, JC). Os resultados dos valores e eficiência, máximos e mínimos, encontram-se na Tabela 5.20.

FIGURA 5.48 Valores de Bactérias Heterotróficas (UFC/100 mL) para efluente do pré-tratamento (MC), efluente da pré-oxidação (JC) e dose de ozônio consumida (mg/L) - Carreira 5

TABELA 5.20 Valores de Bactérias Heterotróficas (UFC/100mL) para afluentes (MC) e efluente da coluna de oxidação (JC), dose de ozônio consumida (mg/L) e de Eficiência (%) - Carreira 5

Tempo de operação (d)	Montante coluna	Jusante coluna	<u>Eficiência (%)</u>	Dose O3 (mg/L)
			Pré- oxidação	
63	74	13	82,7	0,9
70	56	5	91,4	1,8
35	47	5	89,4	2,2
56	56	1	98,6	2,4
42	28	1	97,1	2,7
Máximo	74	13	98,6	2,7
Mínimo	28	1	82,7	0,9

5.3.3.7 Coliformes Totais e *Escherichia coli*

Na pré-oxidação, a menor dose utilizada de 0,9 mg/L produziu efluente com coliformes totais inferior a 2,0 NMP/100 ml (Tabela 5.21). Para dose de ozônio consumida variando de 0,9 a 3,8 mg/L, os valores para *Escherichia coli* (NMP/100mL) chegaram a zero no efluente da coluna de ozonização.

TABELA 5.21 Valores de Coliformes Totais (NMP/100mL) para afluentes (MC) e efluente da coluna de oxidação (JC) e dose de ozônio consumida (mg/L) e de Eficiência (%) - Carreira 5

Tempo de operação (d)	Montante coluna	Jusante coluna	<u>Eficiência (%)</u> Pré-oxidação	Dose O3 (mg/L)
19	1986	—	—	—
27	816	—	—	—
63	1203	1	99,9	0,9
70	548	0	100,0	1,7
35	145	2	98,6	2,2
56	161	0	100,0	2,4
42	186	0	100,0	2,7
50	308	0	100,0	3,8
Máximo	308	2	100,0	3,8
Mínimo	145	0	98,6	2,2

5.3.3.8 Nitrogênio Amoniacal e Nitrato

Na pré-ozonização a eficiência para remoção de nitrogênio amoniacal foi inferior a 18 por cento, para dose de ozônio consumida entre 0,9 e 3,8 por cento (Tabela 5.22). Para o conteúdo de nitrato ocorreu eficiência do conteúdo entre 10 e 78 por cento, na faixa de dose aplicada entre 0,9 e 2,8 mg/L. Os valores medidos estão apresentados na Tabela 5.23.

TABELA 5.23 Valores de Nitrato (mg/L) para afluente (MC) e efluente da coluna de oxidação (JC) e dose de ozônio consumida (mg/L) e de Eficiência (%) - Carreira 5

Tempo operação (d)	Montante coluna	Jusante coluna	Eficiência (%) Pré- oxidação	Dose O3 (mg/L)
63	0,53	0,48	10	0,9
71	0,45	0,40	10	2,2
35	0,55	0,12	78	2,2
42	0,50	0,12	76	2,7
56	0,13	0,11	15	2,8

TABELA 5.22 Valores de Nitrogênio amoniacal (mg/L) e para afluente (MC) e efluente da coluna de oxidação (JC) e dose de ozônio consumida (mg/L) e de Eficiência (%) - Carreira 5

Tempo operação (d)	Montante coluna	Jusante coluna	Eficiência (%) Pré- oxidação	Dose O3 (mg/L)
63	0,11	0,09	18	0,9
35	0,09	0,09	0	2,2
42	0,12	0,10	17	2,7
50	0,09	0,09	0	3,8
Máximo	0,12	0,10	17	3,8
Mínimo	0,82	0,53	0	0,9

5.3.3.9 Alcalinidade, pH, Temperatura e Oxigênio Dissolvido

Não foi possível identificar um comportamento para variação da alcalinidade e pH, ao longo do processo de tratamento. Na Tabela C7.17F, do Anexo F, estão registrados todos os valores medidos ao longo da duração da carreira. A variação do oxigênio dissolvido, durante o processo de tratamento pode ser visualizada na Tabela C5.18e do Anexo E. A variação da temperatura medida, ao longo da carreira de filtração para água bruta e unidades filtrantes estão apresentadas na Tabela C5.17E, no Anexo E. Não foi detectada influência da temperatura durante o processo de ozonização para a dose de ozônio consumida nas condições operacionais estudadas. A temperatura influenciou bastante no controle operacional da vazão de ar do sistema de ozonização.

5.3.3.10 Atrazina

Para dose de ozônio aplicada entre 0,8 e 0,9 mg/L e afluente variando de 29,5 a 59,4 µg/L, o efluente ozonizado apresentou valores maiores que 2,0 µg/L. Para dose de ozônio aplicada entre 2,2 e 3,7 mg/L e afluente variando de 39,4 a 110,25 µg/L, o efluente ozonizado (JC) apresentou valores inferiores a 2,0 µg/L que se enquadram dentro dos padrões de potabilidade brasileiros. O decréscimo na concentração de atrazina foi dependente da dose de ozônio aplicada. Para aumento na dose de ozônio aplicada ocorreram menores valores no efluente da oxidação. Para atrazina foi possível verificar a influência do ozônio na oxidação da atrazina. Nos demais parâmetros avaliados como matéria orgânica (cor verdadeira e aparente, carbono orgânico dissolvido não purgável) não foi verificada a melhor condição. Os valores medidos

para atrazina durante a carreira de filtração, podem ser visualizados na Figura 5.49 e na Tabela 5.24.

TABELA 5.24 Valores de Atrazina para afluente (MC) e efluente da coluna de oxidação (JC) e dose de ozônio consumida (mg/L) e de Eficiência (%) - Carreira 5

Tempo operação (d)	Montante coluna	Jusante coluna	Eficiência (%)	
			Pré- oxidação	O ₃ (mg/L)
63	59,107	20,609	65	0,9
66	45,330	8,297	82	0,9
67	29,520	10,670	64	0,8
68	86,270	3,950	95	1,6
69	46,930	7,470	84	1,7
71	39,460	1,780	95	2,2
41	78,890	0,494	99	2,7
43	110,252	1,060	99	3,7

FIGURA 5.49 Valores Atrazina (µg/L) para afluente (MC) e efluente da coluna de oxidação (JC) - Carreira 5

5.3.3.11 Subprodutos

Os subprodutos da atrazina: atrazina desetil, atrazina desisopropil e atrazina desetil-2-hidroxi alternaram-se entre presença e ausência no afluente à coluna, e sua concentração aumentou após a ozonização, para as condições de dose de ozônio aplicada entre 0,8 e 3,7 mg/L (Tabela 5.25).

TABELA 5.25 Valores para os metabólitos atrazina desetil (CIAT), atrazina desisopropil (CEAT) e atrazina desetil-2-hidroxi (OIAT)

METABÓLITOS		CIAT		CEAT		OIAT	
Tempo operação (d)	Dose O ₃ (mg/L)	Montante coluna	Jusante coluna	Montante coluna	Jusante coluna	Montante coluna	Jusante coluna
67	0,8	0,179	7,096	0,137	0,282	nd	0,361
63	0,9	nd	15,969	0,002	1,986	0,331	0,982
66	0,9	0,350	5,289	nd	0,995	nd	0,557
68	1,6	nd	4,010	nd	0,067	0,126	0,004
69	1,7	0,369	7,815	0,177	0,467	0,086	1,441
71	2,2	nd	2,144	0,048	0,597	nd	1,090
33	2,7	nd	0,083	nd	0,001	0,002	nd
41	2,7	nd	1,694	nd	0,078	0,109	2,005
43	3,7	nd	3,424	nd	0,250	0,142	0,936
Máximo c/O ₃	3,7	0,369	15,969	0,177	1,986	0,331	2,005
Mínimo c/O ₃	0,8	nd	0,083	nd	0,001	nd	nd

Resultado semelhante foi obtido na Carreira 4 para dose de ozônio aplicada entre 1,4 e a 2,2 mg/L. No efluente ozonizado o subproduto que apresentou maior concentração foi a atrazina desetil, seguido pela atrazina desetil-2-hidroxi e, por último, a atrazina desisopropil. Esta condição foi observada, também, na Carreira 4 para dose de ozônio consumida entre 1,2 e 2,4 mg/L. Na Figura 5.50, está representado o comportamento da atrazina desetil; na Figura 5.51, o comportamento da atrazina desisopropil e, na Figura 5.52, o comportamento do atrazina desetil-2-hidroxi.

FIGURA 5.50 Valores CIAT (µg/L) para afluente (MC) e efluente da coluna de oxidação (JC) em função da variação da dose de ozônio consumida (mg/L) - Carreira 5

FIGURA 5.51 Valores CEAT (µg/L) para afluente (MC) e efluente da coluna de oxidação (JC), em função da variação da dose de ozônio consumida (mg/L) - Carreira 5

FIGURA 5.52 Valores atrazina desetil-2-hidroxi (µg/L) para afluente (MC) e efluente da coluna de oxidação (JC) em função da variação da dose de ozônio consumida (mg/L) - Carreira 5

5.3.3.12 Considerações sobre a oxidação com ozônio

Para a faixa de dose de ozônio aplicada entre 0,9 a 3,7 mg/L, para o conteúdo de matéria orgânica avaliado como absorvância a eficiência ficou entre 8 e 32 por cento. Para cor verdadeira a eficiência ficou na faixa de 6 a 55 por cento. Para a cor aparente a eficiência variou entre 4 a 24 por cento, e para o oxigênio consumido, a eficiência foi inferior a 61 por cento. Para o carbono orgânico dissolvido não purgável, ocorreu aumento do conteúdo no efluente ozonizado, indicando transformação da matéria orgânica para a fase dissolvida. MALLEVIALLE & DUGUET (1988) encontraram eficiência de 5 por cento no conteúdo de COT, sob condições de ozonização não mencionadas. Com relação à diminuição de microrganismos avaliados como bactérias heterotróficas a eficiência ficou entre 82,7 e 98,6 por cento e para coliformes e *Escherichia coli*, a eficiência foi em torno de 98,6 a 100 por cento.

Para dose de ozônio aplicada igual a 0,9 mg/L e afluente variando de 29,5 a 59,4 µg/L, o efluente ozonizado apresentou valores maiores que 2,0 µg/L, para atrazina. Para dose de ozônio aplicada entre 2,2 e 3,7 mg/L e afluente variando de 39,4 a 110,25 µg/L, o efluente ozonizado (JC) apresentou valor inferior a 2,0 µg/L para atrazina. Nos demais parâmetros avaliados como matéria orgânica (cor verdadeira e aparente, carbono orgânico dissolvido não purgável) não foi verificada a melhor condição de oxidação. As condições de oxidação estudadas foram propostas com o objetivo principal de remover atrazina. Isto justifica o não estabelecimento de uma condição ótima para os demais parâmetros medidos. A pré-ozonização contribuiu para reduzir o conteúdo de atrazina a valores bem inferiores ao afluente. Por outro lado, a pré-oxidação aumentou a concentração de subprodutos formados da oxidação de atrazina, sendo que o subproduto que apareceu em maior concentração foi a atrazina desetil, seguido da atrazina desisopropil e, por último, a atrazina desetil-2-hidroxi. Os resultados concordam com o esquema de oxidação de atrazina proposto por ADANS & RANDTKE (1992), que apresentam os subprodutos atrazina desetil e atrazina desisopropil como subprodutos da oxidação direta do ozônio. Segundo os autores, a atrazina desetil-2-hidroxi é subproduto da oxidação pela via radicalar. VON GUNTEN & ACERO (2001) apresentaram resultados para oxidação de atrazina em água superficial com ozônio e ozônio associado ao peróxido de hidrogênio e constataram que a presença de matéria orgânica acelerou a decomposição do ozônio e a adição de H₂O₂/O₃ só produziu uma pequena diferença na eficiência de atrazina quando comparado com o ozônio. O aparecimento de atrazina desetil-2-hidroxi quando se utilizou ozônio, considerado por ADANS e RANDTKE (1992) como subproduto da oxidação com ozônio e peróxido de hidrogênio, pode ter ocorrido também pelas características de baixa alcalinidade e presença da matéria orgânica no afluente. Somente a ozonização, nas condições operacionais estudadas, não reduziu o valor de atrazina para valores inferiores a 0,1 µg/L (limite máximo permitido para atrazina, para o padrão de potabilidade europeu).

5.4 Pré-oxidação com ozônio e peróxido de hidrogênio – Carreira 6

Para a condição de pré-oxidação com ozônio e peróxido de hidrogênio, a dose de ozônio aplicada foi fixada em 0,9 mg/L e variou-se a concentração de peróxido de hidrogênio aplicada para que resultasse nas relações H_2O_2/O_3 entre 0,1 e 1,1. Nesta carreira o tempo médio de contato na coluna foi de 12,5 minutos. Todos os valores medidos nesta carreira encontram-se no Anexo F.

5.4.1 Absorvância

A oxidação com ozônio e peróxido de hidrogênio ocasionou diminuição no valor de absorvância, semelhantemente ao que ocorreu com oxidação com ozônio somente. Com a variação no afluente não foi possível estabelecer qual a melhor condição de oxidação para remoção de absorvância.

FIGURA 5.53 Valores de absorvância (cm^{-1}) para afluente (MC) e efluente (JC) da coluna de ozonização - Carreira 6

5.4.2 Carbono Orgânico Dissolvido Não-Purgável – CODNP

Para relação H_2O_2/O_3 entre 0,1 e 0,3, o efluente ozonizado apresentou eficiência que variou entre 15 e 79 por cento para valores no afluente entre 0,3 e $1,1 cm^{-1}$. Para relações superiores, ocorreu aumento do conteúdo de carbono orgânico dissolvido no efluente ozonizado. Na oxidação com ozônio somente, para dose de ozônio consumida entre 0,9 e 3,8 mg/L (Carreira 5), também ocorreu aumento no conteúdo de carbono orgânico dissolvido. Este aumento indica que pode ter ocorrido aumento no conteúdo de matéria orgânica dissolvida pela oxidação. Outra condição que pode ter interferido nos resultados deste parâmetro foi a limitação do equipamento utilizado para medida para concentrações encontradas neste trabalho. Os valores medidos para o parâmetro carbono orgânico dissolvido não-purgável, no decorrer da carreira de filtração, estão representados na Figura 5.54. Na Tabela C6.2F do Anexo F encontram-se todos os valores medidos para carbono orgânico dissolvido não purgável.

FIGURA 5.54 Valores de Carbono Orgânico Dissolvido Não-Purgável (mg/L) para afluente (MC) e efluente (JC) da coluna de ozonização - Carreira 6

5.4.3 Cor Verdadeira

O efluente ozonizado apresentou eficiência de 5 a 55 por cento, com 26 por cento dos valores medidos inferiores a 15 uH, para afluente à coluna de ozonização entre 16 e 38 uH. A curva de cor verdadeira para o efluente ozonizado acompanhou a tendência de variação do afluente (Figura 5.55). Todos os valores medidos para cor verdadeira estão na Tabela C6.3F, do Anexo F.

FIGURA 5.55 Valores de Cor Verdadeira (uH) para afluente (MC) e efluente (JC) da coluna de ozonização - Carreira 6

5.4.4 Cor Aparente

A pré-oxidação utilizando ozônio e peróxido de hidrogênio diminuiu a cor aparente e a eficiência ficou entre 10 e 17 por cento. Na Figura 5.56, pode-se visualizar os valores medidos para cor aparente. O efluente ozonizado apresentou tendência de comportamento similar a variação ocorrida no afluente. Este comportamento foi semelhante ao apresentado pela cor verdadeira. Na oxidação com ozônio a tendência do efluente ozonizado acompanhar variações no afluente também foi observada (Carreira 5). Na Tabela C8.4F do Anexo F, pode-se visualizar todos os valores medidos para o parâmetro cor aparente.

5.4.5 Oxigênio Consumido

A pré-oxidação reduziu de 10 a 33 por cento do conteúdo orgânico medido, como oxigênio consumido, presente no afluente pré-filtrado (montante à coluna de ozonização), sendo que as maiores reduções foram para relação de H_2O_2/O_3 entre 0,1 e 0,3, comportamento semelhante ao apresentado pelo carbono orgânico dissolvido não purgável (C6.5F do Anexo F). A variação do parâmetro está representada na Figura 5.57

FIGURA 5.56 Valores de Cor Aparente (uH) para afluente (MC) e efluente (JC) da coluna de ozonização - Carreira 6

FIGURA 5.57 Valores de Oxigênio Consumido (mg/L) para afluente (MC) e efluente (JC) da coluna de ozonização - Carreira 6

5.4.6 Bactérias Heterotróficas

Na Figura 5.58, estão apresentados os valores medidos para o efluente da pré-filtração (montante da coluna – MC) e da oxidação (jusante da coluna - JC). A maior eficiência de remoção no número de bactérias heterotróficas ocorreu para a relação H_2O_2/O_3 igual a 0,3 (83 a 93 por cento). Para a mesma condição de oxidação ocorreu também maior eficiência na medida dos valores para os parâmetros carbono orgânico dissolvido não purgável e oxigênio consumido. Os valores medidos durante toda a carreira de filtração estão apresentados na Tabela C.6.6 F do anexo F e os resultados dos valores e reduções máximos e mínimos encontram-se na Tabela 5.26.

TABELA 5.26 Valores de Bactérias Heterotróficas (UFC/100mL) para afluente (MC) e efluente (JC) da coluna de ozonização e de Eficiência (%) - Carreira 6

Tempo operação (d)	Montante coluna	Jusante coluna	Eficiência (%)	
			Pré- oxidação	H2O2/O3
25	62	10	83	0,1
32	62	4	93	0,3
39	47	8	82	0,5
53	56	12	78	0,5
46	34	13	62	1,0
18	51	10	79	$O_3 = 1,0$

FIGURA 5.58 Valores de Bactérias Heterotróficas (UFC/100 mL) para afluente (MC) e efluente (JC) da coluna de ozonização - Carreira 6

5.4.7 Coliformes Totais

Na pré-oxidação, para as condições de dose de ozônio aplicada igual a 1,0 mg/L e para relação de H_2O_2/O_3 entre 0,1 e 0,7, o efluente da coluna de ozonização apresentou valores nulos para coliformes totais. Os valores medidos, durante a carreira para coliformes totais estão representados na Tabela C6.7F do Anexo F.

5.4.8 *Escherichia coli*

A oxidação conduziu a ausência de os microrganismos medidos como *Escherichia coli* no efluente, não havendo reaparecimento destes nos filtros lentos para as condições operacionais obtidas de: dose de ozônio aplicada de 0,8 mg/L e relação de H_2O_2/O_3 entre 0,1 e 0,7. Na oxidação com ozônio para dose de ozônio aplicada entre 0,9 e 3,8 mg/L (Carreira 5), no efluente ozonizado o número de *Escherichia coli* também foi nulo e ocorreu a presença de uma unidade nos efluentes dos filtros lentos. Os valores medidos para *Escherichia coli* para a Carreira 6 encontram-se na Tabela C6.8F do Anexo F.

5.4.9 Nitrogênio Amoniacal e Nitrato

Para a pré-oxidação, para dose de ozônio consumida igual a 1,0 mg/L e para relações H_2O_2/O_3 que variaram de 0,1 a 1,0 mg/L, não ocorreu remoção no conteúdo de nitrogênio amoniacal (Tabela C6.9F do Anexo F). Na pré-oxidação, o conteúdo de matéria orgânica avaliada como nitrato foi reduzido para valores inferiores a 13 por cento para relação de H_2O_2/O_3 que variou entre 0,5 e 1,0 (Tabela C6.10F do Anexo F). Na Figura 5.59 estão apresentados os valores de nitrato medidos para o afluente à coluna de ozonização (MC) e o efluente ozonizado (JC).

5.4.10 Turbidez

A pré-oxidação, para dose de ozônio consumida de 1,0 mg/L e relação H_2O_2/O_3 variando de 0,1 a 1,0, proporcionou eficiência inferior a 14 por cento nos valores de turbidez para valores no efluente ozonizado que variaram de 5,6 a 11,1 uT (Tabela C6. F do Anexo F).

FIGURA 5.59 Valores de Nitrato (mg/L) para afluente (MC) e efluente (JC) da coluna de ozonização - Carreira 6

5.4.11 Sólidos Suspensos Totais e Condutividade Elétrica

Para o valor de sólidos suspensos totais foram feitas somente duas medidas para todas as unidades da linha do processo. Por isso não é possível avaliar a eficiência da pré-oxidação com relação ao parâmetro sólidos suspensos totais. A pré-oxidação com ozônio e peróxido de hidrogênio não afetou o conteúdo de sólidos avaliado pela condutividade elétrica (Tabela C.6 F do Anexo F).

5.4.12 Alcalinidade, pH

Houve diminuição na alcalinidade no processo de pré-oxidação. Os valores estão apresentados na Tabela C6.F do Anexo F. Na oxidação com ozônio somente o efluente ozonizado apresentou pH com valores ligeiramente inferiores ao afluente. Quando a oxidação foi realizada com ozônio e peróxido de hidrogênio, o pH do efluente ozonizado não sofreu variação (Tabela C6. do Anexo F).

5.4.13 Oxigênio Dissolvido

Os valores medidos para oxigênio dissolvido durante a carreira de filtração estão apresentados na Tabela C8.19G do anexo G. Ocorreu aumento no conteúdo de oxigênio dissolvido em função da decomposição de peróxido de hidrogênio e ozônio. Os valores medidos de oxigênio dissolvido no efluente da coluna de ozonização foram superiores aos valores medidos para oxidação com ozônio para dose de ozônio consumida entre 0,9 e 3,8 mg/L utilizadas na Carreira 5.

5.4.14 Atrazina

Na pré-oxidação para as condições operacionais utilizadas (dose de ozônio igual a 1,0 mg/L e relação H₂O₂/O₃ no intervalo de 0,1 a 1,0) os valores de atrazina foram reduzidos entre 79 e 93 por cento, e os valores nominais ficaram entre 2,4 a 12,8 µg/L, para afluente variando entre 25,9 a 75,9 µg/L (Tabela 5.65). Na oxidação com ozônio no efluente ozonizado a concentração de atrazina foi inferior a 2,0 µg/L para dose de ozônio consumida entre 2,2 e 3,0 mg/L e concentração de atrazina no afluente entre 39,5 e 110,3 mg/L. Com estes estudos para as

condições de oxidação do ozônio associado ao peróxido de hidrogênio não houve diminuição de atrazina a valores inferiores a 2,0 µg/L. Os menores valores de atrazina ocorreram para relação de H_2O_2/O_3 entre 0,9 e 1,1 coincidindo com os menores valores no afluente que variaram entre 25,8 e 31,7 µg/L. Na Figura 5.60 estão representados os valores medidos para atrazina. É interessante notar que a remoção é também dependente da concentração afluente e por isso não foi possível estabelecer a melhor condição de oxidação estes resultados podem ser visualizados na Figura 5.61.

FIGURA 5.60 Valores Atrazina (µg/L) para afluente (MC) e efluente (JC) da coluna de ozonização - Carreira 6

FIGURA 5.61 Valores Atrazina (µg/L) para afluente (MC) e efluente (JC) da coluna de ozonização por faixa de concentração no afluente - Carreira 6

TABELA 5.27 Valores de Atrazina (µg/L) para afluente (MC) e efluente (JC) da coluna de ozonização e de Eficiência (%) - Carreira 6

Tempo operação (d)	Relação H_2O_2/O_3	Montante coluna	Jusante coluna	Eficiência(%) Pré-oxidação
20	0,1	38,350	6,510	83,02
25	0,1	49,582	10,980	77,85
30	0,2	37,450	5,189	86,14
34	0,2	54,790	7,117	87,01
37	0,2	49,060	7,130	85,47
39	0,5	55,747	7,900	85,83
54	0,5	35,519	5,223	85,30
61	0,6	56,820	8,722	84,65
41	0,7	34,500	5,956	82,74
59	0,7	68,620	12,410	81,91
48	0,9	31,720	2,567	91,91
47	1,0	25,830	2,616	89,87
45	1,1	29,600	2,642	91,07

5.4.15 Subprodutos

O subproduto atrazina desetil alternou entre presença e ausência no afluente aos filtros lentos e a sua concentração aumentou após a ozonização para as condições de relação H_2O_2/O_3 entre 0,1 e 1,1. O atrazina desetil é o principal subproduto decorrente da oxidação da atrazina (Tabela 5.66). A presença de atrazina desisopropil também alternou entre ocorrência e não ocorrência no afluente, tendo sempre sua concentração aumentada no efluente ozonizado como subproduto da oxidação de atrazina, semelhante ao ocorrido quando foi utilizado ozônio na oxidação. O atrazina desetil-2-hidroxi apresentou o mesmo comportamento de presença apresentado pelos subprodutos atrazina desetil e atrazina desisopropil no afluente e aumentou no efluente ozonizado para toda condição utilizada como subproduto da oxidação da atrazina. Os subprodutos atrazina desetil, atrazina desetil-2-hidroxi e atrazina desisopropil surgiram em ordem de maior concentração no afluente e no efluente ozonizado nesta ordem. a atrazina desetil e atrazina desetil-2-hidroxi apresentaram maior concentração no efluente ozonizado para relação de h_2o_2/o_3 entre 0,1 e 0,2 indicando maior potencial para oxidação. a atrazina desisopropil apresentou maior concentração no efluente ozonizado para relação h_2o_2/o_3 superior a 0,5. na figura 5.62 está apresentado o comportamento do atrazina desetil; na figura 5.63, o comportamento atrazina desisopropil e, na Figura 5.64, o comportamento do atrazina desetil-2-hidroxi.

FIGURA 5.62 Valores de atrazina desetil ($\mu\text{g/L}$) para afluente (MC) e efluente (JC) da coluna de ozonização - Carreira 6

FIGURA 5.63 Valores de atrazina desisopropil ($\mu\text{g/L}$) afluente à coluna (PFVA) e efluente da pré-oxidação (JC) - Carreira 6

TABELA 5.28 Valores para atrazina desetil, atrazina desisopropil e atrazina desetil-2-hidroxi ($\mu\text{g/l}$) para afluente (MC) e efluente (JC) da coluna de ozonização - Carreira 6

METABÓLITOS		CIAT		CEAT		OIAT	
Tempo operação (d)	$\text{H}_2\text{O}_2/\text{O}_3$	Montante coluna	Jusante coluna	Montante coluna	Jusante coluna	Montante coluna	Jusante coluna
14	0,0	0,028	0,028	nd	0,005	0,008	0,077
20	0,1	nd	4,950	0,004	0,194	nd	0,203
25	0,1	1,991	9,167	nd	nd	nd	0,049
30	0,2	nd	7,503	nd	0,207	0,012	0,082
34	0,2	0,021	7,624	nd	0,025	0,069	0,047
37	0,2	nd	5,914	nd	0,059	0,140	0,512
39	0,5	0,001	1,005	nd	0,328	0,001	0,015
54	0,5	nd	3,570	0,003	0,478	0,011	0,004
61	0,6	nd	3,202	nd	0,639	0,007	0,005
41	0,7	0,216	4,480	nd	0,363	0,082	nd
59	0,7	0,370	2,893	nd	1,242	nd	0,287
48	0,9	0,478	2,789	0,449	0,298	nd	0,010
47	1,0	1,055	2,885	nd	0,278	nd	0,673
45	1,1	nd	3,888	nd	0,310	nd	0,456
Máximo	1,1	2,0	9,2	0,4	1,2	0,1	0,7
Mínimo	0,1	nd	1,0	nd	nd	nd	nd

FIGURA 5.64 Valores de atrazina desetil-2-hidroxi ($\mu\text{g/L}$) para afluente (MC) e efluente (JC) da coluna de ozonização - Carreira 6

5.4.16 Considerações finais

Para aplicação de peróxido de hidrogênio, foram testados dois pontos: na parte superior da coluna e no meio da coluna. Como os resultados para oxidação de atrazina foram semelhantes, optou-se por adicionar o peróxido de hidrogênio na parte superior da coluna. Na pré-oxidação para a relação de $\text{H}_2\text{O}_2/\text{O}_3$ entre 0,1 e 0,3, ocorreu eficiência maior para o conteúdo de matéria orgânica avaliada como carbono orgânico dissolvido não purgável, oxigênio consumido e bactérias heterotróficas. Para relações maiores ocorreu aumento no conteúdo de carbono orgânico dissolvido no efluente ozonizado, condição esta observada também para oxidação com ozônio, para dose de ozônio consumida entre 0,9 e 3,8 mg/L (Carreira 5). Este aumento indica que pode ter ocorrido aumento no conteúdo de matéria orgânica dissolvida pela oxidação. Outra condição que pode ter interferido nos resultados deste parâmetro foi a

limitação do equipamento utilizado para medida para concentrações encontradas neste trabalho. Para Coliformes Totais e *Escherichia coli*, a eficiência foi de 100 por cento para relação de H_2O_2/O_3 superior a 0,3. Para o nitrogênio amoniacal, não ocorreu diminuição para as relações H_2O_2/O_3 , e para o nitrato a eficiência foi inferior a 13 por cento. A remoção de nitrato foi semelhante à ocorrida quando se utilizou o processo de pré-oxidação com ozônio para dose aplicada entre 0,9 e 2,2. A diminuição no conteúdo de cor verdadeira e cor aparente que ficou entre 9 e 40 por cento. Para a relação H_2O_2/O_3 entre 0,1 e 1,1, o efluente ozonizado apresentou a menor concentração de atrazina (valor médio de a 2,6 $\mu g/l$). Na formação dos subprodutos atrazina desetil, atrazina desisopropil e atrazina desetil-2-hidroxi, ocorreu pequena diferença no efluente ozonizado entre as condições com ozônio e ozônio associado ao peróxido de hidrogênio, com valores menores para a última condição. Os resultados concordam com os encontrados por VON GUNTEN & ACERO (2001) quando foi aplicado peróxido de hidrogênio para oxidação de atrazina em água de manancial superficial. Segundo os autores, devido à promoção pela matéria orgânica natural, houve aceleração do consumo do ozônio e a adição de peróxido de hidrogênio só produziu uma pequena diferença, quando comparado com a oxidação com ozônio somente. O mesmo comportamento pode ter ocorrido no presente trabalho, pois as características da água bruta, ou seja, presença de matéria orgânica e baixa alcalinidade pode ter acelerado a decomposição do ozônio. As condições de degradação de atrazina e subprodutos dependem da contribuição relativa dos iniciantes e promotores presentes na água bruta e deve ser determinado, experimentalmente. Com a utilização de ozônio somente foi possível diminuir a concentração de atrazina no efluente ozonizado a valores inferiores a 1,78 $\mu g/L$ para dose de ozônio consumida entre 2,2 e 3,7 mg/L, quando a concentração no afluente foi entre 39,6 e 110,3 $\mu g/L$.

5.5 FILTRAÇÃO LENTA

Neste item serão discutidos os resultados obtidos para as Carreiras 1 a 3 para a condição operacional de pré-tratamento e filtração lenta sem a utilização de pré-oxidação.

5.5.1 Discussão dos Resultados – Carreira 1

A Carreira 1 foi desenvolvida como controle, adequação operacional do sistema e teve duração de 84 dias com volume tratado de 168 m³. As tabelas completas referentes aos parâmetros desta carreira estão apresentadas no Anexo A.

5.5.1.1 Absorvância

O efluente do filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG) apresentou desempenho melhor quando comparado com o FLA. A diminuição de absorvância no efluente do FLA ocorreu na camada superior do leito de areia. No FLA-CAG a camada de carvão ativado granular foi responsável pelo decréscimo da absorvância. Esta condição pode ser observada pela medida do ponto FLA-CAGi entre as camadas de areia e de carvão ativado granular. A variação nos valores para absorvância ao longo do período de duração da carreira para o afluente aos filtros lentos (efluente do PFVA) pode ser visualizada na Figura 5.4.1. Na Tabela C1.1 A, estão apresentados todos os valores medidos durante a carreira. Para o filtro lento de areia os valores nominais do efluente só passaram a ser inferior ao afluente a partir do 49º dia de operação indicando amadurecimento da camada biológica.

FIGURA 5.65 Valores de absorvância para afluente aos filtros (efluente do PFVA) e de C/Co para o efluente do filtro lento de areia (FLA) e do filtro de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG) - Carreira 1

5.5.1.2 Carbono Orgânico Dissolvido Não-Purgável

O filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG), apresentou valores nominais inferiores e eficiência superior ao filtro lento com camada de areia (Tabela C1.2A do Anexo A). A diferença foi maior entre os filtros no início da carreira. Os valores medidos para o parâmetro carbono orgânico dissolvido não-purgável no decorrer da carreira de filtração estão representados na Figura 5.66. O comportamento da FLA-CAG até o 52º dia indica que na remoção no conteúdo de carbono orgânico dissolvido predominou a adsorção e após houve predominância do fenômeno biológico sobre o de adsorção havendo declínio da curva C/Co.

FIGURA 5.66 Valores de Carbono Orgânico Dissolvido Não-Purgável (CODNP) para efluente do pré-tratamento (PFVA) e de C/Co para efluente do filtro lento de areia (FLA) e do filtro de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG) - Carreira 1

5.5.1.3 Cor Verdadeira

O filtro de areia com camada intermediária de carvão ativado granular apresentou em seu efluente valores nominais menores de cor verdadeira, com 71 por cento de seus valores inferiores a 10 uH. Os resultados estão apresentados na Tabela C1.3 A do Anexo A e na Figura 5.67. O comportamento dos filtros parece semelhante não sendo identificado o fenômeno de adsorção.

5.5.1.4 Cor Aparente

Não houve decréscimo significativo nos efluentes dos filtros lentos quando foi avaliado o parâmetro de cor aparente. Os filtros lentos apresentaram somente 5 por cento dos seus valores inferiores a 15 uH. Na Figura 5.68 pode ser visualizado o comportamento do sistema com relação ao parâmetro cor aparente para as unidades de filtração lenta. O resultado estatístico apresentou igualdade na qualidade do efluente dos filtros lentos. O comportamento dos filtros foi semelhante não indicando adsorção. A remoção no filtro lento de areia ocorreu nos primeiros 30 cm da camada de areia. Os resultados estão apresentados na Tabela C1.4 A do Anexo A

FIGURA 5.67 Valores de Cor Verdadeira (uH) para afluente aos filtros lentos (PFVA) e de C/Co para efluente do filtro lento de areia (FLA) e do filtro de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG) - Carreira 1

FIGURA 5.68 Valores de Cor Aparente (uH) para afluente aos filtros lentos (PFVA) e de C/Co para efluente do filtro lento de areia (FLA) e do filtro de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG) - Carreira 1

5.5.1.5 Oxigênio Consumido

O filtro lento com camada intermediária de carvão ativado granular apresentou efluente com valores nominais menores. A eficiência na remoção do conteúdo orgânico avaliado como oxigênio consumido foi inferior a 63 por cento no filtro lento de areia e variou entre 53 e 100 por cento no filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular. Nos dias 58 e 65 ocorreu piora na qualidade do efluente do FLA, mas não foi encontrada explicação que justificasse. A variação do parâmetro durante o tratamento está

apresentada na Figura 5.69 e todos os valores medidos durante a carreira estão apresentados na Tabela C.5 A do Anexo A. A remoção no conteúdo orgânico avaliado como oxigênio consumido se deu na camada intermediária de carvão ativado granular.

FIGURA 5.69 Valores de Oxigênio Consumido (mg/L) para afluente aos filtros lentos (PFVA) e de C/Co para efluente do filtro lento de areia (FLA) e do filtro de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG) - Carreira 1

5.5.1.6 Coliformes Totais

A variação neste parâmetro durante a carreira de filtração para as unidades filtrantes pode ser observada na Figura 5.71 e os valores nominais, máximos e mínimos para as unidades filtrantes pode ser observado na Tabela C1.7 A no anexo A. Existe indicação (pelo comportamento apresentado pela curva do FLA-CAG) que a remoção de coliformes no FLA-CAG foi por adsorção até o 31º dia sendo depois a remoção biológica o processo dominante, com a curva de remoção apresentando-se semelhante ao do FLA.

FIGURA 5.70 Valores de Coliformes Totais (NMP/100mL) para afluente aos filtros lentos (PFVA) e C/Co para efluente do filtro lento de areia (FLA) e do filtro de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG) - Carreira 1

5.5.1.7 *Escherichia coli*

Os valores de *Escherichia coli* medidos na água bruta enquadram-se dentro dos recomendados para aplicação da tecnologia de filtração em múltiplas etapas com pré-tratamento (PROSAB (1999). A partir do 39º dia de operação os filtros lentos apresentaram valores para *Escherichia coli* inferiores a 5 NMP/100mL quando no afluente (água bruta) a concentração variou de 238 a 600 NMP/100 mL. A turbidez no efluente dos filtros lentos foi inferior a 6,7 uT à partir do 39º dia de operação. Os valores para *Escherichia coli* apresentados pela água bruta e unidades de filtração estão apresentados na Tabela C.1.7 A no anexo A). A variação ocorrida no processo de tratamento considerando o parâmetro *Escherichia coli* pode ser observada na Figura 5.71. A tendência no comportamento das curvas C/Co dos filtros foi semelhante. É interessante notar a contribuição de todo o leito na remoção dos microrganismos.

FIGURA 5.71 Valores de *Escherichia coli* (NMP/100mL) para afluente aos filtros lentos (PFVA) e de C/Co para efluente do filtro lento de areia (FLA) e do filtro de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG) - Carreira 1

5.5.1.8 Nitrogênio Amoniacal

O pré-tratamento reduziu o conteúdo de nitrogênio amoniacal entre 44 e 64 por cento. Pode-se observar pela Figura 5.72 que o conteúdo de nitrogênio amoniacal decresceu durante o processo de tratamento e as duas unidades filtrantes apresentaram em seus afluentes valores bem próximos não havendo diferença estatística. Pode-se observar a contribuição da camada superior da areia na remoção do nitrogênio amoniacal, não havendo contribuição significativa da camada de carvão ativado granular na diminuição medida no efluente do filtro lento com camada intermediária de carvão.

FIGURA 5.72 Valores de Nitrogênio Amônia (mg/L) para afluente aos filtros lentos (PFVA) e de C/Co para efluente do filtro lento de areia (FLA) e do filtro de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG) - Carreira 1

5.5.1.9 Nitrato

Os valores para nitrato apresentados pela água bruta e efluente das unidades filtrantes estão abaixo do preconizado para o padrão de potabilidade. Pode-se notar um aumento do conteúdo de nitrato durante o processo de pré-filtração e diminuição significativa do conteúdo no filtro de areia com camada intermediária de carvão ativado granular, FLA-CAG. O efluente do filtro de areia apresentou remoção para o conteúdo de nitrato a partir do 50º dia de operação. Os valores medidos estão apresentados na Tabela C1.9 A no Anexo A. Houve diminuição no conteúdo de nitrato durante a carreira de filtração nos filtros lentos. No filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular o decréscimo no conteúdo de nitrato ocorreu no carvão ativado granular, diferente do comportamento de remoção do nitrogênio amônia que foi realizada principalmente pela camada superior da areia.

FIGURA 5.73 Valores de Nitrato (mg/L) para afluente aos filtros lentos (PFVA) e de C/Co para efluente do filtro lento de areia (FLA) e do filtro de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG) - Carreira 1

5.5.1.10 Turbidez

Os valores medidos para turbidez da água bruta durante a carreira foram inferiores aos propostos para aplicação da tecnologia Fime, ou seja, 100% dos valores medidos inferiores a 200 UT (PROSAB, 1999). No pré-tratamento o material particulado foi removido de 20 a 76 por cento diminuindo a carga de sólidos nos filtros lentos (Tabela C1.10 A). Os filtros lentos apresentaram efluente com turbidez inferior a 5,0 UT a partir do 46º dia de operação para valores de turbidez da água bruta inferiores que variaram de 14,0 a 24,3 (Figura 5.74). A partir do 39º dia de operação os filtros lentos apresentaram valores no efluente para *Escherichia coli* menores ou iguais a 5,0 NMP/100 mL, para afluente na faixa de 238 a 600 NMP/100mL, quando o efluente dos filtros lentos apresentou valores para turbidez entre 2,1 a 6,5 UT.

FIGURA 5.74 Valores de Turbidez (UT) para afluente aos filtros lentos (PFVA) e de C/Co para efluente do filtro lento de areia (FLA) e do filtro de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG) - Carreira 1

5.5.1.11 Alcalinidade, pH

A variação da alcalinidade e do pH ao longo do processo de tratamento foi pequena. Os valores máximos e mínimos ocorridos durante a carreira podem ser visualizados na Tabela 5.1.11 para alcalinidade e na Tabela 5.1.12 para pH. Todos os valores medidos estão apresentados na Tabela C1.11 A do Anexo A para alcalinidade e Tabela C1.12 A do Anexo A, para pH.

5.5.1.12 Oxigênio Dissolvido

O teor de oxigênio medido ao longo do processo de tratamento não variou muito, exceto para o efluente do filtro lento de areia e camada intermediária de carvão ativado granular que apresentou valores nominais de oxigênio dissolvido bem inferiores ao filtro lento de areia. O decréscimo de oxigênio dissolvido no leito de carvão ativado granular pode ter ocorrido pela atividade microbiana, mas e pelas reações químicas com o adsorbato que

conduzem a polimerização e degradação de compostos orgânicos (PROBER et al., 1975; VIDIC & SULDAM, 1991; VANDERLOOP et al., 1977). A Tabela completa com todos os valores medidos para oxigênio dissolvido encontram-se no Anexo A, Tabela C1.13 A.

TABELA 5.29 Valores de Alcalinidade (mg/L) para afluente aos filtros lentos (PFVA) e efluente do filtro lento de areia, do filtro lento com camada intermediária de carvão ativado granular e do ponto intermediário (FLA-CAGi) - Carreira 1

	Pré-filtro vertical ascendente	Filtro lento areia	Filtro lento areia-cagi	Filtro lento areia-cag
Máximo	7,2	8,4	7,6	8,4
Mínimo	6,4	6,4	6,0	6,0

TABELA 5.30 Valores pH para afluente aos filtros lentos (PFVA) e efluente do filtro lento de areia, do filtro lento com camada intermediária de carvão ativado granular e do ponto intermediário (FLA-CAGi) - Carreira 1

	Pré-filtro vert. ascendente	Filtro lento areia	Filtro lento areia-cagi	Filtro lento areia-cag
Máximo	8,0	8,1	8,1	8,0
Mínimo	6,1	6,2	6,3	6,2

TABELA 5.31 Valores de Oxigênio Dissolvido (mg/L) para afluente aos filtros lentos (PFVA) e efluente do filtro lento de areia, do filtro lento com camada intermediária de carvão ativado granular e do ponto intermediário (FLA-CAGi) - Carreira 1

	Pré-filtro vertical ascendente	Filtro lento areia	Filtro lento areia-cagi	Filtro lento areia-cag
Máximo	7,6	7,4	7,5	4,8
Mínimo	6,1	6,0	6,0	2,0

5.5.1.13 Temperatura

A temperatura da água bruta variou de 19,5 a 26 °C. A variação apresentada pelos afluentes das unidades filtrantes estão apresentadas na Tabela C1.20 A do Anexo A.

5.5.1.14 Perda de Carga

Na Figura 5.1.11 pode-se observar o desenvolvimento da perda de carga no filtro lento de areia e no filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular. A carreira de filtração foi encerrada pelo término da carga hidráulica disponível do filtro lento de areia, FLA após 84 dias de operação com 96 cm (Figura 5.75). Os valores diários podem ser observados na Tabela C.1.15 A do Anexo A.

FIGURA 5.75 Valores Perda de Carga (cm) para efluente do filtro de areia (FLA) e do filtro de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG) - Carreira 1

5.5.3.15 Sólidos Suspensos Totais

A água bruta apresentou, para a medida de sólidos suspensos totais, valores inferiores a 200 mg/L e 91 por cento dos valores foram inferiores a 100 mg/L, condições estas que satisfazem a recomendação para aplicação da Filtração em Múltiplas Etapas (PROSAB, 1999). O conteúdo de sólidos decresceu ao longo do processo de tratamento, sendo que a carga de sólidos retida no pré-tratamento foi de 68 a 93 por cento para variação de sólidos suspensos totais na água bruta de 8,1 a 112,6 mg/L. O filtro lento de areia apresentou 55 por cento dos seus valores inferiores a 0,5 mg/L e, o filtro lento com camada intermediária de carvão ativado granular 36 por cento dos seus valores inferiores a 0,5 mg/L. (Tabela C.3.15C do Anexo A). A Figura 5.76 apresenta os valores referentes a sólidos suspensos totais para o afluente da pré-filtração e para o efluente das unidades de filtração lenta.

FIGURA 5.76 Valores de Sólidos Suspensos Totais (mg/L) para afluente as unidades de filtração lenta (PFVA) efluente dos filtros lentos (FLA e FLA-CAG) - Carreira 1

5.5.3.16 Condutividade Elétrica

A remoção no conteúdo de sólidos avaliado pela condutividade elétrica foi muito pequena para os dois filtros, sendo que o filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular apresentou valores menores (Tabela C1.15 A do anexo A).

5.5.2 Carreira 2

A Carreira 2 teve duração de 94 dias, com volume de água tratado na carreira de 178 m^3 , perfazendo volume total de água tratado de 350 m^3 . O pré-filtro dinâmico operou com taxa de $18 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$, o pre-filtro vertical ascendente operou com taxa de $12 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e os filtros lentos operaram com taxa de $4 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$, a partir do quinto dia de operação. Não foi realizada limpeza intermediária nas unidades de pré-filtração e a carreira foi encerrada pela perda de carga nas unidades de pré-filtração. O objetivo principal desta carreira foi avaliar a remoção de atrazina pelas unidades de filtração lenta. Somente nesta carreira a atrazina, como solução (Gesaprim), foi adicionada à montante do pré-filtro vertical ascendente. Nas carreiras subsequentes a atrazina foi adicionada à montante dos filtros lentos, na coluna de ozonização. A adição de atrazina foi feita a partir do 7º dia de operação. As tabelas completas referentes aos parâmetros medidos nesta carreira estão apresentadas no Anexo B.

5.5.2.1 Absorvância

A variação nos valores para absorvância ao longo da carreira para as unidades de filtração lenta pode ser vista na Figura 5.77. Na Tabela 5.33, estão apresentados os valores nominais máximos e mínimos, para os efluentes das unidades de filtração lenta.

FIGURA 5.77 Valores de absorvância para efluente do pré-filtro vertical ascendente (PFVA) e de C/Co para efluente dos filtros lentos de areia (FLA e FLA-CAG) - Carreira 2

O efluente do filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular apresentou valores nominais menores e valores de eficiência maiores que o filtro lento de areia, para valores de absorvância medido na água bruta, no intervalo de $0,038$ a $0,092 \text{ cm}^{-1}$ (Tabela C 2 A do Anexo A).

TABELA 5.33 Valores de Absorvância (UV-254 nm - cm^{-1}) para efluente do pré-filtro vertical ascendente e dos filtros - Carreira 2

	Pré-filtro vertical ascendente	Filtro lento areia	Filtro lento areia-cagi	Filtro lento areia-cag
Máximo	0,089	0,060	0,074	0,029
Mínimo	0,036	0,008	0,020	0,001

5.5.2.2 Carbono Orgânico Dissolvido Não-Purgável

As unidades de pré-filtração não foram capazes de reduzir o conteúdo orgânico presente na água bruta, ficando a maior remoção para as unidades de filtração lenta, com melhor desempenho do filtro de areia com camada intermediária de carvão ativado granular que apresentou 85% dos seus dados com valores inferiores a 1,0 mg/L (Tabela 5.34 e C2.2B do Anexo B). Estatisticamente o filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular apresentou efluente com melhor estabilidade no conteúdo orgânico avaliado como carbono orgânico dissolvido não purgável. Os valores medidos para o parâmetro carbono orgânico dissolvido não-purgável no decorrer da carreira de filtração estão representados na Figura 5.78.

FIGURA 5.78 Valores de Carbono Orgânico Dissolvido Não-Purgável (mg/L) para efluente do pré-filtro vertical ascendente (PFVA) e de C/Co para efluente do filtro lento de areia (FLA) e do filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG) - Carreira 2

TABELA 5.34 Valores de Carbono Orgânico Dissolvido Não-Purgável (mg/L) para efluente do pré-filtro vertical ascendente, do filtro lento de areia e do filtro lento com camada intermediária de carvão ativado granular - Carreira 2

	Pré-filtro vertical ascendente	Filtro lento areia	Filtro lento areia-cagi	Filtro lento areia-cag
Máximo	0,089	0,060	0,074	0,029
Mínimo	0,036	0,008	0,020	0,001

5.5.2.3 Cor Verdadeira

O efluente do filtro de areia com camada intermediária de cag apresentou melhores resultados para os valores nominais de cor verdadeira, com 53 por cento dos seus valores inferiores a 10 uH. Os resultados estão apresentados na Tabela 5.35 e na Figura 5.79.

5.5.2.4 Cor Aparente

O efluente do filtro lento de areia apresentou 65 por cento dos seus valores inferiores a 15 uH e para o efluente do FLA-CAG 75 por cento dos seus valores foram inferiores a 15 uH (Tabela

5.36 e Tabela C2.4 A do Anexo A). Na Figura 5.80 pode ser visualizado o comportamento do sistema com relação ao parâmetro cor aparente.

TABELA 5.35 Valores de Cor Verdadeira (uH) para efluente do pré-filtro vertical ascendente, do filtro lento de areia e do filtro lento com camada intermediária de carvão ativado granular - Carreira 2

	Água bruta	Pré-filtro vertical ascendente	Filtro lento areia	Filtro areia cagi	Filtro areia cag
Máximo	78	40	18	24	15
Mínimo	30	15	4	8	1

FIGURA 5.2.3 Valores de Cor Verdadeira (uH) para efluente do pré-filtro vertical ascendente (PFVA) e de C/Co para efluente do filtro lento de areia (FLA) e do filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG) - Carreira 2

FIGURA 5.80 Valores de Cor Aparente (uH) para efluente do pré-filtro vertical ascendente (PFVA) e de C/Co para efluente do filtro lento de areia (FLA) e do filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG) - Carreira 2

TABELA 5.36 Valores de Cor Aparente (uH) para efluente do pré-filtro vertical ascendente, do filtro lento de areia e do filtro lento com camada intermediária de carvão ativado granular - Carreira 2

	Pré-filtro vertical ascendente	Filtro lento areia	Filtro lento areia-cagi	Filtro lento areia-cag
Máximo	76	25	46	26
Mínimo	28	7	14	2
val.<15 (%)	0	65	5	75

5.5.2.5 Oxigênio Consumido

O filtro lento com camada intermediária de carvão ativado granular apresentou efluente com menores valores nominais (100 por cento dos valores medidos menores que 1 mg/L) (Tabela 5.37 e Tabela C.2.5B do Anexo B). Os valores nominais medidos durante a carreira, estão representados na Figura 5.81.

TABELA 5.37 Valores de Oxigênio Consumido (mg/L) para efluente do pré-filtro vertical ascendente, do filtro lento de areia e do filtro lento com camada intermediária de carvão ativado granular - Carreira 2

	Pré-filtro vertical ascend.	Filtro lento areia	Filtro areia cagi	Filtro areia cag
Máximo	2,0	1,4	1,5	0,8
Mínimo	0,6	0,1	0,0	0,0

FIGURA 5.81 Valores de Oxigênio Consumido (mg/L) para efluente do pré-filtro vertical ascendente (PFVA) e de C/Co para efluente do filtro lento de areia (FLA) e do filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG) - Carreira 2

5.5.2.6 Bactérias Heterotróficas

No processo de filtração lenta, a redução foi menor que a redução apresentada pelo processo de pré-filtração, considerando as condições operacionais e as características do material filtrante que proporciona condições para o crescimento bacteriano. O efluente do filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado apresentou número maior de bactérias

quando comparado com o FLA. Os valores de C/Co para os filtros lentos e afluente podem ser visualizados na Figura 5.82.

FIGURA 5.82 Valores de Bactérias Heterotróficas (UFC/100 mL) para efluente do pré-filtro vertical ascendente (PFVA) e de C/Co para efluente do filtro lento de areia (FLA) e do filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG) - Carreira 2

Os valores medidos durante toda a carreira de filtração estão apresentados na Tabela 5.38 e os resultados dos valores nominais e eficiências, máximos e mínimos, encontram-se na Tabela C 2.6B do Anexo B

TABELA 5.38 Valores de Bactérias Heterotróficas (UFC/100mL) para efluente do pré-filtro vertical ascendente, do filtro lento de areia e do filtro lento com camada intermediária de carvão ativado granular - Carreira 2

	Pré-filtro vertical ascendente	Filtro lento areia	Filtro lento areia-cagi	Filtro lento areia-cag
Máximo	74	15	51	56
Mínimo	31	4	12	8

5.5.2.7 Coliformes Totais

O efluente do filtro lento de areia apresentou 100 por cento dos valores inferiores a 25 NMP/100mL e o efluente do filtro lento de areia com camada intermediária de cag apresentou 92 por cento dos seus valores inferiores a 25 NMP/100mL. A variação neste parâmetro durante a carreira de filtração pode ser observada na Figura 5.83 e os valores nominais, máximos e mínimos, para água bruta e unidades filtrantes, à partir do 9º dia de operação (amadurecimento da camada biológica) podem ser observados na Tabela 5.39 e todos os valores medidos na Tabela C2.7 B do anexo B.

TABELA 5.39 Valores de Coliformes Totais (NMP/100mL) para efluente do pré-filtro vertical ascendente, do filtro lento de areia e do filtro lento com camada intermediária de carvão ativado granular - Carreira 2

	Pré-filtro vertical ascendente	Filtro lento areia	Filtro areia cagi	Filtro areia cag
Máximo	416	21	93	15
Mínimo	57	1	1	0
val.<25(%)	—	100	61	92

FIGURA 5.83 Valores de Coliformes Totais (NMP/100mL) para efluente do pré-filtro vertical ascendente (PFVA) e de C/Co para efluente do filtro lento de areia (FLA) e do filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG) - Carreira 2

5.5.2.8 *Escherichia coli*

A partir do 9º dia de operação, o efluente do filtro com camada intermediária de carvão ativado granular apresentou 100 por cento dos valores nulos para *Escherichia coli* e valores para turbidez variando entre 0,8 e 2,7 uT. O efluente da unidade de filtração lenta com camada de areia apresentou 100 por cento dos valores inferiores a 5 NMP/100mL para turbidez, variando de 1,05 a 2,94 UT após o 9º dia de operação. Os valores no afluente variaram de 98 a 520 NMP/100mL. Os valores máximos e mínimos medidos durante a carreira para *Escherichia coli* (NMP/100mL) nas unidades de filtração lenta estão apresentados na Tabelas 5.40 e C2.8 B no anexo B.

TABELA 5.40 Valores de *Escherichia coli* (NMP/100mL) para efluente do pré-filtro vertical ascendente, do filtro lento de areia e do filtro lento com camada intermediária de carvão ativado granular - Carreira 2

	Pré-filtro vertical ascendente	Filtro lento areia	Filtro lento areia-cagi	Filtro lento areia-cag
Máximo	34,5	4,1	6,3	0,0
Mínimo	3,1	0,0	0,0	0,0

5.5.2.9 Nitrogênio Amoniacal

Pode-se observar, pela Figura 5.84 que o conteúdo de nitrogênio amoniacal decresceu durante o processo de tratamento e as duas unidades filtrantes apresentaram, em seus afluentes, valores bem próximos e a eficiência variou entre 29 e 100 por cento (Tabela C2.9B).

TABELA 5.41 Valores de Nitrogênio Amoniacal (mg/L) para efluente do pré-filtro vertical ascendente, do filtro lento de areia e do filtro lento com camada intermediária de carvão ativado granular - Carreira 2

	Pré-filtro vertical ascendente	Filtro lento areia	Filtro lento areia-cagi	Filtro lento areia-cag
Máximo	0,13	0,07	0,12	0,07
Mínimo	0,04	0,00	0,01	0,00

FIGURA 5.84 Valores de Nitrogênio Amoniacal (mg/L) para efluente do pré-filtro vertical ascendente (PFVA) e de C/Co para efluente do filtro lento de areia (FLA) e do filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG) - Carreira 2

5.5.2.10 Nitrato

Os valores de nitrato apresentados pela água bruta e efluente das unidades filtrantes estão abaixo do preconizado pelo padrão de potabilidade. Ocorreu remoção significativa do conteúdo de nitrato no filtro de areia com camada intermediária de carvão ativado granular, FLA-CAG (Figura 5.85). Os valores medidos estão apresentados na Tabela 5.42 e C10.B, no Anexo B.

TABELA 5.42 Valores de Nitrato (mg/L) para efluente do pré-filtro vertical ascendente, do filtro lento de areia e do filtro lento com camada intermediária de carvão ativado granular - Carreira 2

	Pré-filtro vertical ascend.	Filtro lento areia	Filtro lento areia-cagi	Filtro lento areia-cag
Máximo	0,91	0,77	0,72	0,24
Mínimo	0,21	0,14	0,15	0,00

FIGURA 5.85 Valores de Nitrato (mg/L) para efluente do pré-filtro vertical ascendente (PFVA) e de C/Co para efluente do filtro lento de areia (FLA) e do filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG) - Carreira 2

5.5.2.11 Turbidez

No pré-tratamento o material particulado medido como turbidez foi removido de 30 a 81%, diminuindo a carga de sólidos nos filtros lentos (Tabelas 5.43 e C 2.11 B do Anexo B). Os filtros lentos apresentaram turbidez menor que 5 UT em 98 por cento dos valores medidos e turbidez menor que 2 UT em 57 por cento dos valores medidos. A qualidade do efluente das unidades de filtração com relação a turbidez pode ser observada na Figura 5.86.

FIGURA 5.86 Valores de Turbidez (UT) para efluente do pré-filtro vertical ascendente (PFVA) e de C/Co para efluente do filtro lento de areia (FLA) e do filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG) - Carreira 2

TABELA 5.43 Valores de Turbidez (UT) para efluente do pré-filtro vertical ascendente, do filtro lento de areia e do filtro lento com camada intermediária de carvão ativado granular - Carreira 2

	Pré-filtro vertical ascend.	Filtro areia	Filtro areia cagi	Filtro areia cag
Máximo	8,9	5,3	6,2	6,2
Mínimo	2,8	1,0	1,7	0,6

5.5.2.12 Alcalinidade e pH

A variação da alcalinidade e pH durante o processo de tratamento foi muito pequena, não causando variações na qualidade do efluente pela alteração destes (Tabela 5.44, para alcalinidade, e 5.45 para pH). Todos os valores medidos para alcalinidade podem ser visualizados na Tabela C2.12 B do Anexo B e, para o pH, na Tabela C2.13 B.

TABELA 5.44 Valores de Alcalinidade (mg/L) para efluente do pré-filtro vertical ascendente, do filtro lento de areia e do filtro lento com camada intermediária de carvão ativado granular - Carreira 2

	Pré-filtro vert. ascendente	Filtro lento areia	Filtro lento areia-cagi	Filtro lento areia-cag
Máximo	8,3	8,4	8,0	7,6
Mínimo	5,5	5,6	6,0	5,9

TABELA 5.45 Valores pH para efluente do pré-filtro vertical ascendente, do filtro lento de areia e do filtro lento com camada intermediária de carvão ativado granular - Carreira 2

	Pré-filtro vert. ascendente	Filtro lento areia	Filtro lento areia-cagi	Filtro lento areia-cag
Máximo	8,0	8,1	8,1	8,0
Mínimo	6,1	6,2	6,3	6,2

5.5.2.13 Oxigênio Dissolvido

O efluente do filtro lento de areia e camada intermediária de carvão ativado granular apresentou valores de oxigênio dissolvido inferiores ao filtro lento de areia (Tabela 5.46 e C2.14B do Anexo B).

TABELA 5.46 Valores de Oxigênio Dissolvido (mg/L) para efluente do pré-filtro vertical ascendente, do filtro lento de areia e do filtro lento com camada intermediária de carvão ativado granular - Carreira 2

	Pré-filtro vert. ascendente	Filtro lento areia	Filtro lento areia-cagi	Filtro lento areia-cag
Máximo	8,8	8,3	8,5	5,9
Mínimo	6,8	6,6	7,0	2,3

5.5.2.14 Temperatura

A variação máxima e mínima, apresentada pelo afluente e efluente das unidades filtrantes, esta apresentada na Tabela 5.47 e todos os valores medidos estão na Tabela C2.15B do Anexo B. A temperatura da água bruta variou de 13,3 a 21,1°C durante a carreira de filtração.

TABELA 5.47 Valores de Temperatura (°C) para efluente do pré-filtro vertical ascendente, do filtro lento de areia e do filtro lento com camada intermediária de carvão ativado granular - Carreira 2

	Pré-filtro vert. ascendente	Filtro lento areia	Filtro lento areia-cagi	Filtro lento areia-cag
Máximo	25,0	25,0	25,5	25,0
Mínimo	12,0	9,5	9,0	10,5

5.5.2.15 Perda de Carga

A carreira 2 foi encerrada sem que as unidades de filtração lentas tivessem atingido a carga hidráulica total disponível. Na Figura 5.87 pode-se observar o desenvolvimento da perda de carga nos filtros lentos de areia e no filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular. A carreira de filtração foi encerrada após 94 dias de operação. Os valores diários podem ser observados na Tabela C.2.16 B do Anexo B.

FIGURA 5.87 Valores Perda de Carga (cm) e de Taxa de Aplicação Superficial ($\text{m}^3/\text{m}^2\text{d}$) para as unidades de filtração lenta - Carreira 2

5.5.2.16 Sólidos Suspensos Totais

O conteúdo de sólidos decresceu ao longo do processo de tratamento, sendo que a carga de sólidos retida no pré-tratamento foi de 46 a 93 por cento para variação de sólidos suspensos totais na água bruta de 1,9 a 11,0 mg/L. Os efluentes dos filtros lentos apresentaram 100 por cento dos valores inferiores a 0,5 mg/L (Tabela 5.97 e C2.16B do Anexo B).

TABELA 5.48 Valores de Sólidos Suspensos Totais (mg/L) para efluente do pré-filtro vertical ascendente, do filtro lento de areia e do filtro lento com camada intermediária de carvão ativado granular - Carreira 2

	Pré-filtro vertical ascendente	Filtro lento areia	Filtro lento areia-cagi	Filtro lento areia-cag
Máximo	1,9	0,4	0,8	0,5
Mínimo	0,5	0,0	1,0	0,0

A Figura 5.88 apresenta os valores referentes a sólidos suspensos totais para o afluente da pré-filtração e para o efluente das unidades de filtração lenta.

FIGURA 5.88 Valores de Sólidos Suspensos Totais (mg/L) para afluente as unidades de filtração lenta (PFVA), efluente do filtro de areia (FLA) e do filtro de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG) – Carreira 2

5.5.2.17 Condutividade Elétrica

A eficiência dos filtros lentos na diminuição do conteúdo de sólidos avaliado pela condutividade elétrica foi muito pequena para os dois filtros, sendo inferior a 17 por cento (Tabela 5.49).

TABELA 5.49 Valores de Condutividade Elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) para efluente do pré-filtro vertical ascendente, do filtro lento de areia e do filtro lento com camada intermediária de carvão ativado granular - Carreira 2

	Pré-filtro vertical ascend.	Filtro areia cag	Filtro areia cagi	Filtro lento areia	Eficiência (%)	
					Filtro areia	Filtro areia-cag
Maximo	18,5	17,8	18,6	18,8	17	9
Mínimo	16,3	14,3	15,2	16,8	1	<0

5.5.2.18 Atrazina

As unidades de pré-tratamento apresentaram eficiência no conteúdo de atrazina inferior a 30 por cento, após o 33º dia de operação para concentração de atrazina no afluente entre 0,816 e 219 $\mu\text{g}/\text{L}$. O filtro lento de areia apresentou remoção positiva (9,3 a 87,6 por cento), a partir do 76º dia de operação para concentração no afluente 0,96 e 269 $\mu\text{g}/\text{L}$. Os valores para atrazina podem ser visualizados na Figura 5.89. Apesar da remoção de atrazina no filtro lento de areia, a concentração no afluente entre 25 e 260,5 $\mu\text{g}/\text{L}$ não atende aos padrões de potabilidade. Os resultados apresentados por WOULDNEH et al. (1996), foi de eficiência inferior a 1,5 por cento nos pré-filtros e inferior a 4 por cento nos filtros lentos, podem estar ligados ao tempo de duração da aplicação de atrazina. O FLA-CAG apresentou valores inferiores a 2,0 $\mu\text{g}/\text{L}$, quando a concentração no afluente as unidades filtrantes foi inferior a 19,4 $\mu\text{g}/\text{L}$, até o 76º dia de operação. A partir do 82º dia de operação o efluente do filtro lento de areia com

camada intermediária de carvão ativado granular foi inferior a 2,0 µg/L para valores no afluente inferior a 200 µg/L. O comportamento dos filtros na remoção de atrazina indicou o amadurecimento dos filtros que acarretou maior remoção no conteúdo da atrazina ao longo da carreira de filtração. A camada de carvão ativado não apresentou curva típica de C/Co que indicasse a remoção de atrazina pelo processo de adsorção somente. A partir do 82º dia de operação, houve estabilidade na remoção do conteúdo de atrazina no filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular em apresentar concentração inferior a 2,0 µg/L. O padrão de potabilidade brasileiro estabelece limite para atrazina de 2,0 µg/L (Tabela 5.50).

FIGURA 5.89 Valores Atrazina (µg/L) para o efluente do pré-filtro vertical ascendente (PFVA) e do filtro de areia (FLA) e do filtro de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG) – Carreira 2

TABELA 5.50 Valores de Atrazina (µg/L) para efluente do pré-filtro vertical ascendente, do filtro lento de areia e do filtro lento com camada intermediária de carvão ativado granular - Carreira 2

	Afluente ao PFVA	Pré-filtro vert. ascendente	Filtro lento areia	Filtro lento areia-cag
14	0,396	0,177	0,019	0,010
18	4,624	5,099	0,026	0,026
25	15,000	15,000	3,200	0,195
33	0,816	0,677	0,720	0,420
63	24,000	19,370	29,000	nd
68	209,840	146,344	166,392	4,920
76	269,000	287,180	260,540	3,750
82	219,000	200,000	25,390	0,354
93	1,320	1,136	0,248	0,140
94	0,958	2,340	1,800	nd
Máximo	269,000	287,180	260,540	4,920
Mínimo	0,396	0,177	0,019	nd

5.5.3 Carreira 3

Esta carreira foi iniciada após 263 dias de operação contínua do sistema de tratamento, com volume de água tratado de 518 m^3 , com duração de 21 dias. A taxa de filtração no pré-filtro vertical ascendente foi de $12 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e o pré-filtro dinâmico operou com taxa de $18 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$. Os filtros lentos operaram com taxa de $4 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ a partir do segundo dia de operação, e a atrazina foi adicionada também no segundo dia de operação à montante dos filtros lentos. O período de realização desta carreira foi de 20 de novembro a 11 de dezembro de 2000, caracterizado por período de chuvas e conseqüente piora na qualidade da água bruta afluyente, reduzindo o período de operação da carreira. As tabelas com todos os valores medidos nesta carreira estão apresentadas no Anexo C.

5.5.3.1 Absorvância

A diminuição na absorvância só foi significativa no filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular. A eficiência variou de 41 a 82 por cento para valores no afluyente aos filtros lentos variando de 0,072 a 0,350. Na Tabela 5.51, estão apresentados os valores máximos e mínimos para o efluente das unidades de filtração lenta. A variação nos valores para absorvância ao longo do período de duração da carreira pode ser vista na Figura 5.90.

FIGURA 5.90 Valores de Absorvância (cm^{-1}) para afluyente as unidades de filtração lenta (PFVA) e de C/Co para efluente do filtro de areia (FLA) e do filtro de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG) – Carreira 3

Tabela 5.51 Valores de Absorvância (UV-254 nm – cm^{-1}) para efluente do pré-filtro vertical ascendente, do filtro lento de areia e do filtro lento com camada intermediária de carvão ativado granular - Carreira 3

	Pré-filtro vertical ascendente	Filtro lento areia	Filtro lento areia-cagi	Filtro lento areia-cag
Máximo	0,350	0,210	0,204	0,067
Mínimo	0,072	0,058	0,068	0,033

5.5.3.2 Carbono Orgânico Dissolvido Não-Purgável

As unidades de pré-filtração não foram capazes de diminuir o conteúdo orgânico presente na água bruta, ficando a maior remoção para as unidades de filtração lenta. O efluente do filtro lento de areia apresentou eficiência na faixa de 11 a 40 por cento. O filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular apresentou em seu efluente, eficiência que variou de 55 a 96 por cento, para o conteúdo orgânico avaliado como carbono orgânico dissolvido não purgável, e 67 por cento dos valores foram inferiores a 1,0 mg/L (Tabela C3. 2C do Anexo C). A Tabela 5.52 apresenta os valores máximos e mínimos de carbono orgânico dissolvido não purgável para as unidades de filtração lenta e do pré-filtro dinâmico (PFVA). Os valores medidos para o parâmetro carbono orgânico dissolvido não-purgável no decorrer da carreira de filtração estão representados na Figura 5.91.

FIGURA 5.91 Valores de Carbono Orgânico Dissolvido Não-Purgável para afluente as unidades de filtração lenta (PFVA) e de C/Co para efluente do filtro de areia (FLA) e do filtro de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG) – Carreira 3

TABELA 5.52 Valores de Carbono Orgânico Dissolvido Não-Purgável (mg/L) para efluente do pré-filtro vertical ascendente, do filtro lento de areia e do filtro lento com camada intermediária de carvão ativado granular - Carreira 3

	Pré-filtro vertical ascendente	Filtro lento areia	Filtro lento areia-cagi	Filtro lento areia-cag
Máximo	6,38	4,73	4,69	1,10
Mínimo	1,64	1,46	1,93	0,24

5.5.3.3 Cor Verdadeira

A eficiência de remoção de cor no efluente dos filtros lentos variou entre 30 e 68 por cento. Nenhum dos efluentes dos filtros lentos apresentou cor verdadeira inferior a 15 uH, sendo que o filtro lento com camada intermediária de carvão ativado granular apresentou efluente de melhor qualidade. Os resultados estão apresentados na Tabela 5.53 e na Figura 5.92. Os valores medidos encontram-se na Tabela C 3.3C do Anexo C.

TABELA 5.53 Valores de Cor Verdadeira (uH) para efluente do pré-filtro vertical ascendente, do filtro lento de areia e do filtro lento com camada intermediária de carvão ativado granular - Carreira 3

	Pré-filtro vertical ascendente	Filtro lento areia	Filtro lento areia-cagi	Filtro lento areia-cag
Máximo	80	56	65	46
Mínimo	43	21	25	16

FIGURA 5.92 Valores de Cor Verdadeira para afluente as unidades de filtração lenta (PFVA) e de C/Co para efluente do filtro de areia (FLA) e do filtro de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG) – Carreira 3

5.5.3.4 Cor Aparente

A cor aparente foi diminuída ao longo do processo de tratamento após o 11º dia de operação, mas os valores no efluente dos filtros lentos ficaram acima do valor de 15 uH, não atendendo o padrão de potabilidade. Na Figura 5.93, pode ser visualizado o comportamento da filtração lenta com relação ao parâmetro cor aparente. A diminuição da cor aparente se deu nos primeiros 30 cm da camada de areia como pode ser observado na Figura 5.93 comparando os pontos FLA-CAGI (ponto de coleta intermediário a 30 cm da camada superficial da areia) e os pontos FLA-CAG e FLA (pontos de coleta do efluente final dos filtros lentos). Na Tabela 5.54, estão apresentados os valores nominais, máximos e mínimos, ocorridos durante a carreira para a cor aparente durante a carreira de filtração.

TABELA 5.54 Valores de Cor Aparente (uH) para efluente do pré-filtro vertical ascendente, do filtro lento de areia e do filtro lento com camada intermediária de carvão ativado granular - Carreira 3

	Pré-filtro vertical ascendente	Filtro lento areia	Filtro lento areia-cagi	Filtro lento areia-cag
Máximo	960	460	608	417
Mínimo	104	37	41	27

FIGURA 5.93 Valores de Cor Aparente para afluente as unidades de filtração lenta (PFVA) e de C/Co para efluente do filtro de areia (FLA) e do filtro de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG) – Carreira 3

5.5.3.5 Oxigênio Consumido

O filtro lento com camada intermediária de carvão ativado granular apresentou efluente com menores valores nominais (60 por cento dos valores inferiores a 1,0 mg/L). Os valores medidos para o parâmetro encontram-se na Tabela 3.5C do Anexo C. A Tabela 5.55 apresenta os valores nominais, máximos e mínimos, para o efluente do pré-filtro vertical ascendente e dos filtros lentos.

TABELA 5.55 Valores de Oxigênio Consumido (mg/L) para efluente do pré-filtro vertical ascendente, do filtro lento de areia e do filtro lento com camada intermediária de carvão ativado granular - Carreira 3

	Pré-filtro vertical ascendente	Filtro lento areia	Filtro lento areia-cagi	Filtro lento areia-cag
Máximo	7,4	5,4	6,0	2,1
Mínimo	1,7	1,1	2,0	1
val<1(%)	—	—	—	60

Os valores medidos durante a carreira estão representados na Figura 5.94.

FIGURA 5.94 Valores de Oxigênio Consumido para afluente as unidades de filtração lenta (PFVA) e de C/Co para efluente do filtro de areia (FLA) e do filtro de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG) – Carreira 3

5.5.3.6 Coliformes Totais

Os valores da água bruta para coliformes totais não se enquadraram dentro dos limites sugeridos por PROSAB (1999), ou seja, 95 por cento das amostras com valores inferiores a 10000 NMP/100ml, e estabelecidos pela ABNT (1989) que somente 20 por cento das amostras tenham valores maiores que 5000 NMP/100mL, para aplicação de tecnologia de filtração em múltiplas etapas com pré-tratamento e para tratamento de água sem coagulação química respectivamente. O efluente do filtro lento com camada intermediária de carvão ativado granular apresentou, após o 14º dia de operação, valores para coliformes totais inferiores a 10 NMP/100mL, valores estes bem inferiores aos apresentados pelo efluente do filtro de areia. Durante este período a turbidez do efluente do FLA-CAG variou de 4,9 a 6,8 UT (Tabela 5.56 e Tabela C 3.6C do Anexo C). A variação, neste parâmetro, durante a carreira de filtração pode ser observada na Figura 5.95.

FIGURA 5.95 Valores de Coliformes Totais (NMP/100 mL) para afluente as unidades de filtração lenta (PFVA) e de C/Co para efluente do filtro de areia (FLA) e do filtro de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG) – Carreira 3

TABELA 5.56 Valores de Coliformes Totais (NMP/100mL) para efluente do pré-filtro vertical ascendente, do filtro lento de areia e do filtro lento com camada intermediária de carvão ativado granular - Carreira 3

	Pré-filtro vertical ascendente	Filtro lento areia	Filtro lento areia-cagi	Filtro lento areia-cag
Máximo	2520	649	1733	435
Mínimo	727	49	13	1

5.5.3.7 *Escherichia coli*

Os valores de *Escherichia coli* apresentados pela água bruta enquadraram-se dentro dos recomendados para aplicação da tecnologia de filtração em múltiplas etapas com pré-tratamento, ou seja, 100 por cento dos dados com valores inferiores a 5000 NMP/100 mL. O pré-tratamento removeu de 68 a 97 por cento dos microrganismos *Escherichia coli*, diminuindo o acesso destes ao sistema de filtração lenta. Para valores do afluente (água bruta) variando de 100 a 630 NMP/100 mL, os filtros lentos apresentaram 100 por cento dos valores medidos

inferiores a 1,0 NMP/100 mL, para turbidez no efluente dos filtros variando de 4,9 a 9,8 UT a partir do 3º dia de operação (Tabela 5.57). Os valores de C/Co podem ser visualizados na Figura 5.96.

FIGURA 5.96 Valores de *Escherichia coli* para afluente as unidades de filtração lenta (PFVA) e de C/Co para efluente do filtro de areia (FLA) e do filtro de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG) – Carreira 3

Os valores para *Escherichia coli* (NMP/100mL) apresentados pelas unidades de filtração estão apresentados na Tabela 5.57 e Tabela C3.7C no anexo C.

TABELA 5.57 Valores de *Escherichia coli* (NMP/100mL) para efluente do pré-filtro vertical ascendente, do filtro lento de areia e do filtro lento com camada intermediária de carvão ativado granular - Carreira 3

	Pré-filtro vertical ascendente	Filtro lento areia	Filtro lento areia-cagi	Filtro lento areia-cag
Máximo	199	23	91	30
Mínimo	22	0	0	0

5.5.3.8 Nitrogênio Amoniacal

O conteúdo de nitrogênio amoniacal decresceu durante o processo de tratamento e as duas unidades filtrantes apresentaram em seus afluentes valores bem próximos (Tabela 5.58 e Tabela C 3.8C do Anexo C.).

TABELA 5.58 Valores de Nitrogênio Amoniacal (mg/L) para efluente do pré-filtro vertical ascendente, do filtro lento de areia e do filtro lento com camada intermediária de carvão ativado granular - Carreira 3

	Pré-filtro vertical ascendente	Filtro lento areia	Filtro lento areia-cagi	Filtro lento areia-cag
Máximo	0,26	0,20	0,18	0,13
Mínimo	0,16	0,08	0,08	0,07

Na Figura 5.97 estão plotados os valores medidos para nitrogênio amoniacal durante a carreira de filtração.

FIGURA 5.97 Valores de Nitrogênio Amoniacal para afluente as unidades de filtração lenta (PFVA) e de C/Co para efluente do filtro de areia (FLA) e do filtro de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG) – Carreira 3

5.5.3.9 Nitrato

Os valores de nitrato apresentados pela água bruta e efluente das unidades filtrantes estão abaixo do preconizado para o padrão de potabilidade. Ocorreu diminuição do conteúdo de nitrato no efluente do filtro de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG), e ocorreu também diminuição no conteúdo de nitrogênio amoniacal. No filtro lento de areia ocorreu aumento no conteúdo de nitrato indicando que existe nitrificação, uma vez que ocorreu também diminuição no conteúdo de nitrogênio amoniacal (Figura 5.98). Os valores medidos estão apresentados na Tabela 5.59

FIGURA 5.98 Valores de Nitrato para afluente as unidades de filtração lenta (PFVA) e de C/Co para efluente do filtro de areia (FLA) e do filtro de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG) – Carreira 3

TABELA 5.59 Valores de Nitrato (mg/L) para efluente do pré-filtro vertical ascendente, do filtro lento de areia e do filtro lento com camada intermediária de carvão ativado granular - Carreira 3

Tempo de operação (d)	Pré-filtro vertical ascendente	Filtro lento areia	Filtro lento areia-cagi	Filtro lento areia-cag
1	0,68	0,70	0,25	0,61
5	0,28	0,36	0,58	0,13
12	0,68	0,75	0,77	0,54
Máximo	0,68	0,75	0,77	0,61
Mínimo	0,28	0,36	0,25	0,13

5.5.3.10 Turbidez

Os valores medidos para turbidez da água bruta, durante a carreira, não se enquadram dentro dos limites estabelecidos para utilização da tecnologia de filtração em múltiplas etapas, ou seja, 95 por cento dos dados inferiores a 100 UT (PROSAB, 1999). A faixa de variação foi de 22,1 a 112 UT, com 80 por cento dos valores inferiores a 100 UT. No filtro lento de areia, 16 por cento dos valores foram inferiores a 5,0 UT, e no filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular, 32 por cento dos valores foram inferiores a 5 UT para valores na água bruta variando de 29,0 a 34,6 UT (Tabela C3.11C do Anexo C). Na Figura 5.99, estão representados os valores medidos.

FIGURA 5.99 Valores de Turbidez (uT) para afluente as unidades de filtração lenta (PFVA), efluente do filtro de areia (FLA) e do filtro de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG) – Carreira 3

5.5.3.11 Sólidos Suspensos Totais

O conteúdo de sólidos decresceu, ao longo do processo de tratamento, sendo que a eficiência no conteúdo de sólidos no pré-tratamento foi de 56 a 83 por cento para variação de sólidos suspensos totais na água bruta de 11 a 43 mg/L. Os filtro lentos de areia apresentaram conteúdo de sólidos suspensos totais no efluente inferiores a 0,5 mg/L, no 14º dia de operação para concentração na água bruta igual a 19,6 mg/L. (Tabela 5.60 e C.3.10C do Anexo C). A Figura 5.100 apresenta os valores referentes a sólidos suspensos totais, para o afluente da pré-filtração e de C/Co para o efluente das unidades de filtração lenta.

FIGURA 5.3.12 Valores de Sólidos Suspensos Totais (mg/L) para afluente as unidades de filtração lenta (PFVA) efluente do filtro de areia (FLA) e do filtro de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG) – Carreira 3

5.5.3.12 Condutividade Elétrica

Os valores para condutividade foram muito pequenos havendo pouca variação no conteúdo de sólidos avaliado como condutividade elétrica ao longo de todo o processo de tratamento, havendo baixa eficiência (inferior a 19 por cento) nas unidades de filtração lenta.

TABELA 5.61 Valores de Condutividade Elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) para efluente do pré-filtro vertical ascendente, do filtro lento de areia e do filtro lento com camada intermediária de carvão ativado granular - Carreira 3

Tempo de operação (d)	Pré-filtro vertical ascendente	Filtro lento areia	Filtro lento areia-cagi	Filtro lento areia-cag
3	12,6	13,4	13,7	15,9
17	14,5	15,1	16,2	13,4
21	18,0	14,5	18,0	15,2
Máximo	18,0	15,1	18,0	15,9
Mínimo	12,6	13,4	13,7	13,4

5.5.3.13 Alcalinidade e pH

A variação da alcalinidade e do pH pode ser visualizada nas Tabelas (Tabela C3.11C, C3.12C, respectivamente, no Anexo C). O filtro lento com camada intermediária de carvão ativado granular apresentou valores menores que o efluente do filtro lento de areia e que o efluente do pré-tratamento para alcalinidade. O efluente do filtro de areia com camada intermediária de carvão ativado granular apresentou valores mais baixos (5,96 a 6,15) que o efluente do filtro lento (6,5 a 6,78) e do pré-tratamento (6,56 a 6,97).

5.5.3.14 Temperatura

A variação máxima e mínima apresentada pela água bruta foi de 22 a 26 oC (Tabela 5.112). A variação da temperatura medida ao longo da carreira de filtração para água bruta e unidades filtrantes está apresentada na Tabela C3.13C, no Anexo C.

5.5.3.16 Oxigênio Dissolvido

O valor do oxigênio dissolvido decresceu ao longo da linha do processo de tratamento, sendo que o efluente do filtro lento de areia e camada intermediária de carvão ativado granular apresentou valores de oxigênio dissolvido bem inferiores ao filtro lento de areia (Tabela 5.62). O consumo de oxigênio na camada de areia pode ter se dado pelos microrganismos e interação química entre o adsorvato e adsorvente. A consequência deste consumo ocasionou menores valores para o filtro lento com camada intermediária de carvão ativado granular principalmente para remoção de matéria orgânica natural (avaliada como absorvância, cor verdadeira, oxigênio consumido) e para atrazina e subprodutos da atrazina.

TABELA 5.52 Valores de Oxigênio Dissolvido (mg/L) para efluente do pré-filtro vertical ascendente, do filtro lento de areia e do filtro lento com camada intermediária de carvão ativado granular - Carreira 3

Tempo de operação (d)	Pré-filtro vertical ascendente	Filtro lento areia	Filtro areia-cag areia-cag
7	7,3	7,1	2,0
14	7,0	5,8	0,4
21	6,8	5,7	2,4

5.5.3.16 Perda de Carga e Taxa de Aplicação Superficial

Na Figura 5.101, pode-se observar a taxa de aplicação superficial e o desenvolvimento da perda de carga no filtro lento de areia e no filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular. A carreira de filtração foi encerrada após 21 dias de operação, quando o filtro lento de areia atingiu a carga hidráulica total disponível, de 100 cm. Os valores diários podem ser observados na Tabela C.3.14C do Anexo C .

FIGURA 5.101 Valores Perda de Carga (cm) e de Taxa de Aplicação Superficial para as unidades de filtração lenta (FLA e FLA-CAG) - Carreira 3

5.5.3.17 Atrazina

O FLA-CAG apresentou valores inferiores a 2,0 µg/L, quando o afluente foi menor que 100 µg/L (Tabela 5.113). Na carreira 2, o efluente do FLA-CAG foi inferior a 2,0 µg/L para valor no afluente inferior a 20 µg/L. Esta condição pode indicar que ocorreu adaptação dos microrganismos aderidos ao leito de carvão ativado granular para remoção de atrazina. No efluente do filtro lento de areia ocorreu eficiência de remoção de atrazina entre 34,6 a 88,7 por cento, mas, os valores nominais medidos foram superiores a 2 µg/L. No filtro lento de areia ocorreu diminuição no conteúdo de atrazina ao longo da carreira de filtração. Para o filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular, houve pequena diminuição na eficiência e um aumento nos valores de atrazina no efluente ao longo da carreira, podendo-se prever exaustão da capacidade de adsorção do carvão ativado granular para remoção de atrazina. Na carreira posterior, esta condição não foi confirmada. O padrão de potabilidade brasileiro admite 2,0 µg/L como valor máximo permissível para a atrazina. É interessante notar que a camada de carvão ativado granular continuou removendo atrazina, após 264 dias de

operação contínua, com volume de água tratado de 560 m³. Os valores medidos encontram-se representados graficamente na Figura 5.102.

FIGURA 5.102 Valores Atrazina (µg/L) para afluente às unidades de filtração lenta (MC), efluente do filtro de areia (FLA) e do filtro de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG) – Carreira 3

TABELA 5.63 Valores de Atrazina (µg/L) para efluente do pré-filtro vertical ascendente, do filtro lento de areia e do filtro lento com camada intermediária de carvão ativado granular e de Eficiência (%) - Carreira 3

Tempo operação (d)	Montante coluna	Filtro lento areia	Filtro lento areia-cag	Eficiência(%)	
				Filtro areia	Filtro areia-cag
3	52,850	18,390	0,223	65,2	99,6
7	84,81	55,480	0,327	34,6	99,6
11	101,060	45,080	0,119	55,4	99,9
14	80,100	12,060	0,146	84,9	99,8
17	90,740	15,090	0,403	83,4	99,6
21	88,110	10,000	1,135	88,7	98,7
Máximo	101,060	55,480	1,135	88,7	99,9
Mínimo	52,850	10,000	0,119	34,6	98,7

5.5.3.18 Subprodutos da atrazina

5.5.3.18.1 Atrazina desetil

A presença deste subproduto foi detectada no afluente aos filtros lentos, estando presente na solução de atrazina preparada, adicionada à montante dos filtros lentos. Durante esta carreira, ocorreu diminuição no conteúdo de atrazina desetil nos filtros lentos, ficando bastante próximos os valores no efluente dos dois filtros (Tabela 5.64). Na Figura 5.103 encontram-se os valores medidos para o afluente e efluente das unidades da filtração lenta.

TABELA 5.64 Valores de atrazina desetil ($\mu\text{g/L}$) para efluente do pré-filtro vertical ascendente, do filtro lento de areia e do filtro lento com camada intermediária de carvão ativado granular - Carreira 3

Tempo operação (d)	Montante coluna	Filtro lento areia	Filtro lento areia-cag	Eficiência(%)	
				Filtro areia	Filtro areia-cag
3	0,039	0,060	0,012	0,0	69,2
7	0,300	0,186	0,248	38,0	17,3
11	0,266	0,079	0,169	70,3	36,5
14	1,850	0,668	0,953	63,9	48,5
17	0,105	0,096	0,004	8,6	96,2
21	1,824	0,042	0,967	97,7	47,0
Máximo	1,850	0,668	0,967	97,7	96,2
Mínimo	0,039	0,042	0,004	8,6	17,3

FIGURA 5.103 Valores de atrazina desetil ($\mu\text{g/L}$) para afluente as unidades de filtração lenta (MC), efluente do filtro de areia (FLA) e do filtro de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG) – Carreira 3

5.5.3.18.2 Atrazina desisopropil

A presença deste subproduto variou com a ocorrência e não ocorrência no afluente e nos filtros lentos. No filtro lento de areia, o aparecimento de atrazina desisopropil indica a oxidação biológica da atrazina e a diminuição indica a atuação de microrganismos. No filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular, ocorreu, no início da carreira aparecimento deste subproduto (3º e 11º dia) e, a partir do 14º dia ocorreu diminuição (Tabela 5.65). Os valores podem ser visualizados na Figura 5.104.

FIGURA 5.104 Valores atrazina desisopropil ($\mu\text{g/L}$) para afluente as unidades de filtração lenta (MC), efluente do filtro de areia (FLA) e do filtro de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG) – Carreira 3

TABELA 5.65 Valores de atrazina desisopropil ($\mu\text{g/L}$) para efluente do pré-filtro vertical ascendente, do filtro lento de areia e do filtro lento com camada intermediária de carvão ativado granular - Carreira 3

Tempo operação (d)	Montante coluna	Filtro lento areia	Filtro lento areia-cag	Eficiência (%)	
				Filtro areia	Filtro areia-cag
3	0,009	—	0,368	100,0	0,0
7	—	—	—	—	—
11	—	0,208	0,033	0,0	0,0
14	0,146	0,546	—	0,0	100,0
17	0,360	—	0,025	100,0	93,1
21	0,798	0,510	0,319	36,1	60,0
Máximo	0,798	0,546	0,368	100,0	100,0
Mínimo	0,009	0,208	0,025	0,0	0,0

5.5.3.18.3 Atrazina desetil-2-hidroxi

O subproduto atrazina desetil-2-hidroxi também alternou entre a ocorrência e não-ocorrência no afluente e no efluente dos filtros lentos. No filtro lento de areia a concentração de atrazina desetil-2-hidroxi variou entre valores não detectados (nd) e 0,344 $\mu\text{g/L}$ e ocorreu diminuição entre os dias 7 e 17, indicando a participação de microrganismos. O filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular apresentou, em seu efluente, concentração de atrazina desetil-2-hidroxi entre valores não detectados (nd) e 0,141 $\mu\text{g/L}$, havendo o aumento no conteúdo quando o afluente apresentava concentração não detectada (Tabela 5.67). Na Figura 5.105, foram plotados os valores medidos para atrazina desetil-2-hidroxi.

FIGURA 5.105 Valores atrazina desetil-2-hidroxi ($\mu\text{g/L}$) para afluente as unidades de filtração lenta (MC), efluente do filtro de areia (FLA) e do filtro de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG) – Carreira 3

TABELA 5.67 Valores de atrazina desetil-2-hidroxi ($\mu\text{g/L}$) para efluente do pré-filtro vertical ascendente, do filtro lento de areia e do filtro lento com camada intermediária de carvão ativado granular - Carreira 3

Tempo operação (d)	Montante coluna	Filtro lento areia	Filtro lento areia-cag	Eficiência (%)	
				Filtro areia	Filtro areia-cag
3	0,0090	0,0760	0,0100	0,0	0,0
7	0,4460	0,2300	nd	48,4	100,0
11	nd	0,3440	0,0020	0,0	0,0
14	2,2800	0,0270	0,0195	98,8	99,1
17	nd	nd	0,0001	0,0	0,0
21	0,0160	0,1620	0,1410	0,0	0,0
Máximo	2,2800	0,3440	0,1410	98,8	100,0
Mínimo	0,0090	nd	nd	0,0	0,0

A legislação brasileira não estabelece padrão de potabilidade para os subprodutos dos pesticidas, mas a legislação europeia propõe para atrazina valor máximo de $0,1 \mu\text{g/L}$ e a somatória dos subprodutos deve ser inferior a $0,5 \mu\text{g/L}$. Para os dados obtidos, o filtro lento com camada intermediária de carvão ativado granular atenderia esta condição em duas situações, para 11º dia e 17º dia de operação, quando a concentração afluente de atrazina foi superior a $91 \mu\text{g/L}$ (Tabela 5.117).

TABELA 5.68 Valores de somatória de Atrazina e Metabólitos ($\mu\text{g/L}$) para efluente do pré-filtro vertical ascendente, do filtro lento de areia e do filtro lento com camada intermediária de carvão ativado granular - Carreira 3

Tempo operação (d)	Montante coluna	Filtro areia	Filtro areia-cag
3	52,907	18,526	0,613
7	85,556	55,896	0,915
11	101,326	45,711	0,323
14	84,376	13,301	1,119
17	91,205	15,186	0,432
21	90,748	10,714	2,642
Máximo	101,326	55,896	2,642
Mínimo	52,907	10,714	0,323

5.5.3.19 Considerações gerais sobre o processo de filtração lenta precedida de pré-filtração

Na primeira carreira pode-se observar o amadurecimento dos filtros na diminuição dos valores dos parâmetros analisados. O período de amadurecimento da carreira foi em torno de 40 dias para a primeira carreira. Nas carreiras subsequentes, o período de amadurecimento foi em torno de 5 dias. A eficiência na diminuição do conteúdo de sólidos avaliado como turbidez, durante esta fase de tratamento, variou entre 13 e 82 por cento para as unidades filtrantes; os dois filtros lentos apresentaram qualidade semelhante no efluente. Para o conteúdo de sólidos suspensos totais no efluente dos filtros lentos a eficiência variou entre 53 e 91 por cento. Na diminuição de cor verdadeira e cor aparente, o filtro lento com camada intermediária de carvão ativado granular apresentou características melhores que o filtro lento de areia, ficando a eficiência de cor verdadeira para o filtro lento de areia entre 17 e 80 por cento e, para o filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular entre 26 e 94 por cento. Para cor aparente, a eficiência na remoção do filtro de areia ficou entre 17 e 64 por cento e, para o filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular entre 17 e 93 por cento. O decréscimo de oxigênio dissolvido no leito de carvão ativado granular pode ter ocorrido pela atividade microbiana, mas e pelas reações químicas com o adsorvato que conduzem a polimerização e degradação de compostos orgânicos (PROBER et al., 1975; VIDIC & SULDAM, 1991; VANDERLOOP et al., 1977). A consequência deste consumo ocasionou menores valores para o filtro lento com camada intermediária de carvão ativado granular principalmente para remoção de matéria orgânica natural (avaliada como absorvância, cor verdadeira, oxigênio consumido) e para atrazina e subprodutos da atrazina.

Até o final da carreira a camada de carvão ativado granular não perdeu sua capacidade de diminuição do conteúdo orgânico avaliado como cor verdadeira. Para remoção de conteúdo orgânico, o filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular

apresentou efluente com características de qualidade superior ao efluente do filtro lento de areia nos parâmetros medidos como absorvância, carbono orgânico dissolvido não purgável, oxigênio consumido e cor verdadeira e aparente. Após 284 dias de operação do sistema e volume de água tratado de 558 m³, a camada de carvão ativado não apresentou perda de eficiência na diminuição no conteúdo de orgânicos ficando e a variação no decréscimo dos parâmetros medidos foi bastante influenciada pela característica da água bruta. A eficiência na remoção de coliformes nos filtros lentos foi superior a 70 por cento e os dois filtros apresentaram efluentes finais com concentração bem próximas. Com relação a diminuição no conteúdo de coliformes, foi notado que o efluente dos filtros lentos apresentaram concentração de *Escherichia coli* inferior a 5 NMP/100 mL para turbidez no efluente entre 0,8 e 9,8 UT para concentração de *Escherichia coli* no afluente entre 98 e 600 NMP/100 mL. O que se pode observar foi que para valores de turbidez no efluente dos filtros entre 2 e 9,8 UT não ocorreu comprometimento bacteriológico quando o parâmetro de referência foi *Escherichia coli* e se a cloração é o processo final de desinfecção. Esta conclusão difere dos valores propostos para efluente final da turbidez para filtração lenta da Portaria N° 1469, que estabelece padrões de potabilidade no território nacional.

O filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular apresentou valores para atrazina inferiores a 2 µg/L para concentração de atrazina no afluente entre 52,8 e 101,1 µg/L. A camada intermediária de carvão ativado granular pode ser utilizada para diminuição na concentração de atrazina nas condições operacionais obtidas na pesquisa e atende o padrão de potabilidade brasileiro que estabelece valor máximo permissível de 2,0 µg/L.

5.6 Discussão da Filtração Lenta precedida de pré-oxidação com ozônio

5.6.1 Carreira 4

5.6.1.1 Absorvância

A variação nos valores para absorvância ao longo da carreira pode ser vista na Figura 5.106. A dose de ozônio de 2,1 mg/L promoveu maior redução de absorvância nos filtros lentos quando comparada com a dose de 1,4 mg/L e com a condição sem pré-ozonização. Para o filtro lento de areia, a eficiência para a dose de 2,1 foi de 38 por cento e de 14 por cento para dose de ozônio consumida de 1,4 mg/L. Para o filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado, a eficiência foi de 38 e 61 por cento para a dose de ozônio consumida de 1,4 e 2,1 mg/L, respectivamente. Em qualquer condição operacional, o filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular apresentou valores menores para absorvância.

FIGURA 5.106 Valores de absorvância (cm^{-1}) para efluente da pré-filtração (PFVA), de C/Co para efluente da coluna de ozonização (JC), do filtro de areia (FLA) e do filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG) - Carreira 4

TABELA 5.67 Valores de Absorvância (cm^{-1}) para afluente (MC) e efluente da coluna (JC), efluente do filtro lento de areia e do filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular- Carreira 4

Tempo de operação (d)	Jusante coluna	Filtro lento areia	Filtro lento areia-cag	Dose O3 consumida (mg/L)
37	3,7	2,8	2,2	—
43	4,3	3,6	2,5	1,4
52	0,8	0,6	0,2	2,1

5.6.1.2 Cor Verdadeira

Até o penúltimo dia de operação, ou seja, o 52º dia, os filtros lentos apresentaram valores mínimos para a cor verdadeira de 19 uH para o FLA e 17 uH para o FLA-CAG. A eficiência para cor verdadeira variou ao longo do tempo, e foi dependente da variação no afluente. Os valores medidos para cor verdadeira estão acima dos recomendados para aplicação da FiME,

que sugere que 100 por cento de todos valores devem ser inferiores a 25 uH (PROSAB, 1999). Os filtros lentos proporcionaram diminuição na cor verdadeira para valores variando entre 20 e 50 uH. Os resultados estão apresentados na Tabela 5.68. Na Figura 5.107, estão representados os valores de C/Co para o efluente da coluna de ozonização (JC) e para o efluente dos filtros lentos.

FIGURA 5.107 Valores de Cor Verdadeira (uH) para efluente da pré-filtração (PFVA), de C/Co para efluente da coluna de ozonização (JC), do filtro de areia (FLA) e do filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG) - Carreira 4

TABELA 5.68 Valores de Cor Verdadeira (uH) para afluente (MC) e efluente da coluna (JC), efluente do filtro lento de areia e do filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular e de Eficiência (%) – Carreira 4

Tempo de operação (d)	Jusante coluna	Filtro lento areia	Filtro lento areia-cag	Eficiência (%)		Dose O3 consumida (mg/L)
				Filtro areia	Filtro areia-cag	
37	73	57	48	22	34	—
43	70	47	39	33	44	1,4
52	42	19	17	55	60	2,1
53	10	—	4	—	60	2,4
48	52	35	29	33	44	2,5
Máximo	70	47	39	55	60	2,5
Mínimo	10	19	4	33	44	1,4

5.6.1.3 Cor Aparente

Na filtração lenta, a maior redução foi observada no filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular que variou de 64 a 83 por cento. As doses de ozônio, na faixa utilizada, não alteraram o conteúdo de matéria orgânica medido pela cor aparente. Na Figura 5.108, pode ser visualizado o comportamento do sistema com relação ao parâmetro cor aparente. Houve redução da cor aparente ao longo do processo de tratamento, mas os valores para o efluente dos filtros lentos ficaram acima do valor de 15 uH, preconizado pelo padrão de potabilidade (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2000).

FIGURA 5.108 Valores de Cor Aparente (uH) para efluente da pré-filtração (PFVA), de C/Co para efluente da coluna de ozonização (JC), do filtro de areia (FLA) e do filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG) - Carreira 4

Na Tabela 5.69 estão apresentados os valores nominais, máximos e mínimos, ocorridos durante a carreira e a eficiência máxima e mínima, para a cor aparente, durante a carreira de filtração.

TABELA 5.69 Valores de Cor Aparente (uH) para afluente (MC) e efluente da coluna (JC), efluente do filtro lento de areia e do filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular e de Eficiência (%) – Carreira 4

Tempo de operação (d)	Jusante coluna	Filtro lento areia	Filtro lento areia-cag	Eficiência (%)		Dose O3 consumida (mg/L)
				Filtro areia	Filtro areia-cag	
37	164	106	89	35	46	—
43	170	73	61	57	64	1,4
52	93	29	20	69	78	2,1
53	98	41	17	58	83	2,4
48	99	42	31	58	69	2,5
Máximo	170	73	61	69	83	2,5
Mínimo	93	29	17	57	64	1,4

5.6.1.4 Oxigênio Consumido

A ozonização com dose de 2,1 mg/L diminuiu o conteúdo orgânico do efluente da coluna e no efluente dos filtros lentos (Tabela 5.70). A variação do parâmetro oxigênio consumido com valores nominais medidos durante a duração da carreira está representada na Figura 5.109.

TABELA 5.70 Valores de Oxigênio Consumido (mg/L) para afluente (MC) e efluente da coluna (JC), efluente do filtro lento de areia e do filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular e de Eficiência (%) – Carreira 4

Tempo de operação (d)	Jusante coluna	Filtro lento areia	Filtro lento areia-cag	Dose O3 consumida (mg/L)
37	3,7	2,8	2,2	—
43	4,3	3,6	2,5	1,4
52	0,8	0,6	0,2	2,1

FIGURA 5.109 Valores de Oxigênio Consumido (mg/L) para efluente da pré-ozonização (JC), do filtro lento de areia (FLA) e do filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG) - Carreira 4

5.6.1.5 Coliformes Totais

Para a dose de 1,4 mg/L, o efluente ozonizado apresentou valor para coliforme total menor que 5 NMP/100 mL. O efluente ozonizado apresentou valores nulos para coliformes totais, para dose de 2,1 mg/L, para tempo de contato na coluna de ozonização igual a 12 minutos e ocorreu a presença de coliformes totais no efluente do filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular. Na Tabela 5.71, estão representados os valores medidos e a dose de ozônio consumida.

TABELA 5.71 Valores de Coliformes Totais (NMP/100mL) para afluente (MC) e efluente da coluna (JC), efluente do filtro lento de areia e do filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular – Carreira 4

Tempo de operação (d)	Jusante coluna	Filtro lento areia	Filtro lento areia-cag	Dose O3 consumida (mg/L)
43	4	11	4	1,4
52	0	0	1	2,1

5.6.1.6 *Escherichia coli*

Para dose de ozônio consumida superior a 1,4 mg/L, dose mínima estudada e permitida pelas condições operacionais de ozonização, foi possível reduzir para zero os valores de *Escherichia Coli*. A turbidez no efluente do filtro lento para estas condições variou de 3,9 a 8,4, após 43º dia de operação. Os valores para *Escherichia coli* (NMP/100mL) apresentados pela água bruta e unidades de pré-filtração e filtração lenta estão apresentados na Tabela 5.72.

TABELA 5.72 Valores de *Escherichia coli* (NMP/100mL) para afluente (MC) e efluente da coluna (JC), efluente do filtro lento de areia e do filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular– Carreira 4

Tempo de operação (d)	Jusante coluna	Filtro lento areia	Filtro lento areia-cag	Dose O3 consumida (mg/L)
43	0	0	0	1,4
52	0	0	0	2,1

5.6.1.7 Nitrogênio Amoniacal e Nitrato

Nesta carreira só foi possíveis uma medida de nitrogênio amoniacal e de nitrato , com dosagem de ozônio consumida igual a 2,1 mg/L (Tabela 5.73). Houve diminuição do conteúdo de nitrogênio amoniacal no efluente dos filtros lentos com valor nominal menor para o filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular, para os dois parâmetros medidos. Para o filtro lento de areia com a oxidação houve redução no conteúdo de nitrato no efluente do filtro, diferindo dos resultados quando a oxidação não foi utilizada.

TABELA 5.73 Valores de Nitrogênio Amoniacal e de Nitrato (mg/L) para afluente (MC) e efluente da coluna (JC), efluente do filtro lento de areia e do filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular – Carreira 4

Parâmetro (mg/L)	Jusante coluna	Filtro lento areia	Filtro lento areia-cag	Dose O3 consumida (mg/L)
Nit. Amoniacal	0,16	0,05	0,01	2,1
Nitrato	0,74	0,51	0,30	

5.6.1.8 Turbidez

No filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular, 19 por cento dos valores foi inferior a 5 UT, para valores, na água bruta variando de 29,8 a 31,1 UT, após o 41º dia de operação. A pré-oxidação, nas dosagens utilizadas, não alterou a eficiência da filtração, quando comparada com a redução nas carreiras anteriores, quando não foi utilizada a pré-oxidação. A remoção de turbidez aumentou ao longo da carreira e dependeu da qualidade da água bruta. (Tabela C4.1D do Anexo D). Durante a carreira de filtração, ocorreram picos de turbidez com valores maiores que 100 UT, comprometendo a eficiência de remoção no meio filtrante dos filtros lentos. Os valores medidos para turbidez do afluente aos filtros (JC) e dos efluentes do filtro lento de areia e filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular estão representados na Figura 5.110.

FIGURA 5.110 Valores de Turbidez (UT) para a água bruta, efluente do pré-filtro vertical ascendente (PFVA), do filtro lento de areia (FLA) e do filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG) - Carreira 4

5.6.1.9 pH, Temperatura e Oxigênio Dissolvido

Os valores de pH decresceram ao longo da linha de tratamento. O filtro de areia com camada intermediária de carvão ativado granular apresentou valores mais baixos para o pH (6,0 a 6,3)

quando não se utilizou a pré-oxidação. A pré-oxidação nas condições estudadas influenciou o pH e ocorreu diminuição no efluente a da coluna de ozonização. Tabela C4.2D do Anexo D. A variação máxima e mínima apresentada pela água bruta foi de 23,0 a 26,5 °C para temperatura. A variação da temperatura medida ao longo da carreira de filtração para água bruta e unidades filtrantes está apresentada na Tabela C4.3D do Anexo D.

Para as condições de ozonização, a concentração de oxigênio dissolvido aumentou no efluente da coluna de ozonização e no efluente do filtro lento de areia. O FLA-CAG apresentou no efluente, valores para oxigênio dissolvido bem inferiores ao efluente da coluna de ozonização e cresceu com o aumento da dose de ozônio (Tabela 5.74).

TABELA 5.74 Valores de Oxigênio Dissolvido (mg/L) para efluente da coluna (JC), do filtro lento de areia e do filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular e de- Carreira 4

Tempo de operação (d)	Jusante coluna	Filtro lento areia	Filtro lento areia-cag	Dose O3 consumido (mg/L)
37	6,9	7,7	1,7	
43	17,4	7,6	2,1	1,4
51	18,5	7,6	3,2	2,1

5.6.1.10 Perda de Carga

Na Figura 5.111, pode-se observar o desenvolvimento da perda de carga no filtro lento de areia e no filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular. A carreira de filtração foi encerrada após 50 dias de operação para o filtro lento de areia que atingiu a carga hidráulica total disponível, de 100 cm e aos 54 dias para o filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular. Nesta carreira, pode-se observar a diminuição da capacidade dos filtros lentos na redução de turbidez aliada à redução da carreira devido à alteração na qualidade da água bruta com picos de turbidez superiores a 100 UT. Após o encerramento da carreira, todo o leito de areia dos filtros foi removido, lavado e repostado, para que a Carreira 5 fosse iniciada. Os valores diários podem ser observados na Tabela C.6.4D do Anexo D.

FIGURA 5.11 Valores Perda de Carga (cm), de Taxa de Aplicação Superficial ($\text{m}^3/\text{m}^2\text{d}$) e de dose de ozônio consumida para as unidades de filtração lenta - Carreira 4

5.6.1.11 Atrazina

O FLA-CAG apresentou valores inferiores a 2,0 µg/L, quando a atrazina medida no efluente foi igual a 82,04 µg/L, após 38 dias de operação, sem a utilização da pré-oxidação (Tabela 5.129). Este resultado confirmou o que se obteve na carreira anterior, quando o efluente do filtro lento de areia com carvão ativado granular apresentou valor de 1,495 µg/L para afluente igual a 119,706 µg/L. O padrão de potabilidade brasileiro admite 2,0 µg/L como valor máximo permissível para a atrazina. É interessante notar que a camada de carvão ativado granular continuou removendo atrazina, após 300 dias de operação contínua com volume de água tratado de 566,2 m³. Os valores medidos podem ser visualizados na Figura 5.75.

A pré-oxidação com dose de ozônio consumida variando de 1,4 a 2,5 mg/L e concentração de atrazina no afluente variando de 72,6 a 124,74 µg/L não reduziu a concentração de atrazina para valores inferiores a 2,0 µg/L no efluente ozonizado. Para o filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular precedido de pré-ozonização, o efluente apresentou concentração de atrazina inferior a 0,1 µg/L, atendendo os valores estabelecidos pela comunidade européia.

FIGURA 5.112 Valores Atrazina (µg/L) para o efluente da ozonização (JC), do filtro lento de areia (FLA) e do filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG) – Carreira 4

TABELA 5.75 Valores de Atrazina (µg/L) para afluente (MC) e efluente da coluna (JC), efluente do filtro lento de areia e do filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular e de Eficiência (%) – Carreira 4

Tempo de operação (d)	Montante coluna	Jusante coluna	Filtro areia	Filtro areia-cag	Eficiência (%)			Dose O3 consumida (mg/L)
					Jusante coluna	Filtro areia	Filtro areia-cag	
38	82,040		54,760	0,118		33,25	99,86	
43	108,810	57,730	19,530	0,027	46,94	66,17	99,95	1,4
48	1,960	1,024	0,253	0,061	47,76	75,29	94,06	1,4
52	72,628	13,855	0,058	0,013	80,92	99,58	99,91	2,1
54	124,740	5,170		0,027	95,86		99,47	
Máximo	124,740	57,730	54,760	0,118	95,86	99,58	99,95	2,1
Mínimo	1,960	1,024	0,058	0,013	46,94	33,25	94,06	1,4

5.6.1.12 Subprodutos

5.6.1.12.1 Atrazina desetil

Para a condição sem pré-oxidação e para o 43° dia (dose de ozônio consumida igual a 1,4 mg/L), o efluente do filtro lento de areia apresentou concentração de atrazina desetil superior ao afluente. Após o 48° dia de operação para dose de 1,4 a 2,2 mg/L ocorreu redução no conteúdo de atrazina desetil, sendo a formação inferior à redução (Tabela 5.76). A concentração de ATRAZINA DESETIL no efluente do filtro lento de areia foi reduzida ao longo da carreira de filtração. Para o filtro lento com camada intermediária de carvão ativado granular ocorreu redução no conteúdo de atrazina desetil, para todas as condições operacionais durante a carreira. A redução no conteúdo de atrazina desetil ocorreu desde o início da carreira.

FIGURA 5.113 Valores de atrazina desetil (µg/L) para o efluente da ozonização (JC), do filtro lento de areia (FLA) e do filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG) – Carreira 4

TABELA 5.76 Valores de atrazina desetil (µg/L) para efluente da coluna (JC), do filtro lento de areia e do filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular e de Eficiência (%) – Carreira 4

Tempo de operação (d)	Dose O ₃ consumida (mg/L)	Jusante coluna	Filtro areia	Filtro areia-cag	Eficiência (%)	
					Filtro areia	Filtro areia-cag
38	0,0	0,246	0,688	0,018	0,0	92,6
43	1,4	1,600	0,819	0,005	48,8	99,7
48	1,4	1,498	1,319	nd	11,9	100,0
52	2,1	1,671	0,334	nd	80,0	100,0
54	2,2	0,696	nd	0,022	100,0	96,9
Máximo	2,2	1,671	1,319	0,022	100,0	100,0
Mínimo	0,0	0,246	nd	nd	0,0	92,6

5.6.1.12.2 Atrazina desisopropil

Para a condição sem pré-oxidação e para o 43° dia (dose de ozônio consumida igual a 1,4 mg/L), o efluente do filtro lento de areia apresentou concentração de atrazina desisopropil superior ao afluente. após o 48° dia de operação, para dose de 1,4 a 2,2 mg/l, ocorreu redução

no conteúdo de atrazina desisopropil, sendo a formação inferior à redução (Tabela 5.77). Para o filtro lento com camada intermediária de carvão ativado granular, para todas as condições operacionais ocorreu redução no conteúdo de atrazina desisopropil, desde o início da carreira, não havendo indicação que exista necessidade de um tempo de estabilização ou aclimação dos microrganismos, ao longo da carreira, ou esta aclimação foi atingida antes do filtro lento de areia. Os valores medidos podem ser visualizados na Figura 5.114.

FIGURA 5.114 Valores Atrazina desisopropil ($\mu\text{g/L}$) para o efluente da ozonização (JC), do filtro lento de areia (FLA) e do filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG) – Carreira 4

TABELA 5.77 Valores de atrazina desisopropil ($\mu\text{g/L}$) para efluente da coluna (JC), do filtro lento de areia e do filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular – Carreira 4

Tempo de operação (d)	Dose O_3 consumida (mg/L)	Jusante coluna	Filtro areia	Filtro areia-cag
38	0,0	0,088	1,068	0,022
43	1,4	0,267	1,964	nd
48	1,4	0,266	0,152	0,009
52	2,1	0,087	nd	0,004
54	2,2	0,251	nd	0,018
Máximo	2,2	0,267	1,964	0,022
Mínimo	0,0	0,087	nd	nd

5.6.1.12.3 Atrazina desetil-2-hidroxi

O aparecimento de atrazina desetil-2-hidroxi no filtro lento de areia oscilou entre a formação pela oxidação biológica da atrazina e redução (Tabela 5.78). No filtro lento de areia com camada de carvão ativado granular, somente para condição sem pré-oxidação é que houve formação de atrazina desetil-2-hidroxi.

FIGURA 5.115 Valores atrazina desetil-2-hidroxi (µg/L) para o efluente da ozonização (JC), do filtro lento de areia (FLA) e do filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG) – Carreira 4

TABELA 5.78 Valores de atrazina desetil-2-hidroxi (µg/L) para efluente da coluna (JC), do filtro lento de areia e do filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular Carreira 4

Tempo de operação (d)	Dose O ₃ consumida (mg/L)	Jusante coluna	Filtro areia	Filtro areia-cag
38	0,0	0,001	nd	0,034
43	1,4	0,264	0,217	0,064
48	1,4	0,161	0,208	nd
52	2,1	0,002	0,183	0,001
54	2,2	0,517	nd	0,027
Máximo	2,2	0,517	0,217	0,064
Mínimo	0,0	0,001	nd	nd

Para o filtro lento de areia a concentração maior no efluente foi de atrazina desisopropil, seguido pela de atrazina desetil e por último pela de atrazina desetil-2-hidroxi. No filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular o conteúdo de subprodutos em ordem decrescente foi atrazina desetil-2-hidroxi, atrazina desisopropil e atrazina desetil.

Na Tabela 5.79 estão apresentados os valores para a somatória de atrazina e de Subprodutos. O que se pode observar é que para as doses de ozônio consumida a somatória de atrazina e Subprodutos no efluente do filtro lento com camada intermediária de carvão ativado granular foi inferior a 0,5 µg/L e atende os padrão de potabilidade mais restritivo para atrazina e subprodutos, para as condições operacionais estudadas.

TABELA 5.79 Somatória dos valores de Atrazina e Subprodutos (µg/L) para efluente da coluna (JC), do filtro lento de areia e do filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular e de Eficiência (%) – Carreira 4

Tempo operação (d)	Montante coluna	Jusante coluna	Filtro areia	Filtro areia-cag	Ozônio consumido (mg/L)
38	82,375	0,000	56,516	0,192	—
43	130,783	57,823	30,630	0,096	1,4
48	2,007	3,770	1,932	0,070	1,4
52	72,673	15,615	0,575	0,009	2,1
54	124,927	8,688	—	0,070	2,2

5.6.2 Carreira 5

Após o encerramento da Carreira 4, todo o leito de areia das unidades filtrantes foi removido, lavado e recolocado para que tivesse início a Carreira 5. Este procedimento foi adotado devido à curta duração da Carreira 4, influenciada pela piora na qualidade da água bruta. As tabelas completas, como os valores para os parâmetros medidos, encontram-se no Anexo E. Nesta carreira, foi incorporada ao sistema de filtração lenta uma outra unidade de filtro lento com camada intermediária de carvão ativado granular denominada FLA-CAG2. A partir do 17º dia de operação, a taxa de aplicação superficial nos filtros lentos passou a ser igual a $4 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$. A taxa de aplicação no pré-filtro vertical ascendente foi igual a $18 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ e a taxa no pré-filtro dinâmico foi igual a $20 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$.

5.6.2.1 Absorvância

A variação nos valores para absorvância ao longo da carreira de filtração e a variação das doses de ozônio consumida pode ser vista na Figura 5.116. No pré-tratamento, 52 por cento dos valores medidos no efluente de PFVA apresentaram conteúdo orgânico superior ao afluente, indicando sua baixa capacidade na remoção de absorvância, o que concordou com os resultados obtidos nas carreiras anteriores (Carreiras 1,2,3 e 4). Todos os valores medidos para absorvância estão na Tabela C5.1 do Anexo E. Os dois filtros lentos com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG e FLA-CAG2) forneceram efluente com maior remoção de conteúdo orgânico quando comparados com o FLA, até o 37º dia, quando a dose de ozônio consumida variou de 0,0 a 2,7 mg/L. Do 40º ao 51º dia, os valores medidos para o efluente dos filtros lentos estiveram bem próximos para dose de ozônio consumida entre 2,2 e 3,8 mg/L. Do 54º dia até o final da carreira, quando a dose de ozônio variou de 0,9 a 3,7 mg/L, os efluentes do FLA, e do FLA-CAG não apresentaram diferença significativa nos valores medidos e o FLA-CAG2 apresentou efluente com valores de absorvância menores que o dois filtros (FLA-CAG e FLA). O filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular não apresentou o mesmo comportamento ao longo da carreira de filtração, mas os valores de eficiência ficaram bem próximos aos medidos nas carreiras anteriores. Após o 54º ocorreu aumento na relação C/Co para o FLA e para o FLA-CAG (valores superiores a 0,5) decorrente do aumento no afluente (JC). O FLA-CAG2 sofreu menor interferência da variação no afluente. A dosagem de ozônio consumida que resultou em melhor qualidade do efluente dos filtros lentos FLA e FLA-CAG variou de 3,7 a 3,8 mg/L, semelhante ao que ocorreu na pré-oxidação. O FLA-CAG2 apresentou valores menores quando comparado ao efluente de FLA e FLA-CAG para dose de ozônio a partir do 53º dia de operação. Na Tabela 5.80 estão apresentados os valores nominais e de eficiência, máximos e mínimos, para efluente da coluna de oxidação e efluente das unidades de filtração lenta. Para o filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado 2 (FLA-CAG2), o menor valor e maior eficiência (%) ocorreram para dose de ozônio consumida igual a 0,9 mg/L.

FIGURA 5.116 Valores de absorvância (C/Co) para efluente da pré-oxidação (JC), do filtro lento de areia (FLA), do filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG) e do filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular nova (FLA-CAG2) - Carreira 5

Tabela 5.80 Valores de Absorvância (UV-254 nm - cm) para efluente da coluna de ozonização e dos filtros lentos e valores de Eficiência (%) - Carreira 5

	Jusante coluna	Filtro lento areia-cag	Filtro lento areia	Filtro lento areia-cag2	Eficiência (%)			Dose O3 (mg/L)
					Flento areia-cag	Flento areia	Flento a-cag-2	
Máximo	0,000	0,054	0,094	0,052	50	18	58	—
Mínimo	0,000	0,028	0,044	0,022	35	6	41	—
Máximo	0,052	0,033	0,034	0,024	37	35	64	0,9
Mínimo	0,036	0,027	0,029	0,013	19	19	54	0,9
Máximo	0,055	0,033	0,039	0,023	54	51	62	2,2
Mínimo	0,038	0,025	0,027	0,021	18	21	42	1,6
Máximo	0,056	0,033	0,041	0,027	50	36	63	3,1
Mínimo	0,038	0,022	0,027	0,014	29	16	45	2,7
Máximo	0,046	0,028	0,027	0,022	56	47	54	3,8
Mínimo	0,035	0,018	0,023	0,016	29	34	49	3,7

5.6.2.2 Carbono Orgânico Dissolvido Não-Purgável - CODNP

Os valores medidos para o parâmetro carbono orgânico dissolvido não-purgável, no decorrer da carreira de filtração, estão representados na Figura 5.118. Na pré-oxidação e nas unidades de pré-filtração não ocorreu diminuição no conteúdo orgânico presente na água bruta avaliado como CODNP, ficando a maior eficiência para as unidades de filtração lenta com melhor desempenho para os filtros de areia com camada intermediária de carvão ativado granular para as duas condições operacionais estudadas, sem pré-oxidação e com pré-oxidação para dosagens de ozônio consumida variando de 0,9 a 3,8 mg/L (Tabela 5.81 e C5.2E do Anexo E). O filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG), com maior tempo de uso, apresentou 88 por cento dos seus valores inferiores a 1,0 mg/L. O efluente da pré-oxidação apresentou 18 por cento dos seus valores inferiores a 1,0 mg/L, quando o efluente do pré-tratamento apresentou 29 por cento dos seus valores inferiores a 1,0 mg/L. Os menores valores para efluente da coluna de oxidação (JC), do FLA, do FLA-CAG

ocorreram para dose de ozônio consumida variando de 0,9 a 2,1 mg/L e para o FLA-CAG2 o menor valor ocorreu com dose de ozônio consumida igual a 0,9 mg/L.

Os menores valores de CODNP, nas unidades de pré-filtração, pré-oxidação e filtração lenta, ocorreram para os menores valores do afluente (0,827 a 0,888 mg/L), quando a dose de ozônio consumida foi de 0,9 mg/L, indicando a pequena contribuição da ozonização na redução do conteúdo orgânico avaliado como CODNP. Para redução em porcentagem, o filtro lento FLA-CAG2 apresentou maior redução quando a dose de ozônio consumida foi de 0,9 mg/L, na pré-oxidação e, na filtração lenta, os maiores valores de redução foram para dose de ozônio consumida na faixa de 1,6 a 2,2 mg/L, para o filtro lento FLA-CAG foi para dose de ozônio que variou de 2,7 a 3,1 mg/L. No efluente da pré-oxidação ocorreram valores maiores que o afluente. Duas possibilidades de interpretação existem: ou matéria orgânica dissolvida aumentou como consequência da oxidação, ou ocorreram desvios na medida deste parâmetro, uma vez que os valores medidos estão próximos do limite de detecção do aparelho (1,0 mg/L).

FIGURA 5.117 Valores de Carbono Orgânico Dissolvido Não-Purgável (C/Co) para efluente da pré-oxidação (JC), do filtro lento de areia (FLA), do filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG) e do filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular adicionada nesta carreira (FLA-CAG2) - Carreira 5

TABELA 5.81 Valores de Carbono Orgânico Dissolvido Não-Purgável (mg/L) para efluente da coluna de ozonização e dos filtros lentos e valores de Eficiência (%) - Carreira 5

Tempo operação (d)	Água bruta	Pré-filtro vertical ascend.	Jusante coluna	Filtro lento areia	Filtro areia cag	Filtro areia cag-2	Eficiência (%)					Dose O3 (mg/L)	Relação O3/ CODNP
							Pré- Trat.	Pré- oxid.	Filtro areia	Filtro a-cag	Filtro a-cag2		
Máximo	0,9	0,9	1,1	0,8	0,9	0,5	7	8	26	48	56	0,9	1,1
Mínimo	0,8	0,8	0,8	0,6	0,5	0,4	0	0	20	14	39	0,9	1,0
Máximo	1,7	2,0	1,7	1,8	1,5	1,1	22	15	29	41	46	2,2	2,0
Mínimo	0,8	0,9	0,9	0,6	0,5	0,5	0	0	0	11	11	1,6	1,1
Máximo	1,7	1,6	1,5	1,3	1,0	1,2	13	13	20	55	52	3,8	2,5
Mínimo	1,2	1,1	1,0	1,0	0,6	0,6	1	0	6	25	16	2,7	1,7
	1,2	1,2	1,2	1,4	1,0	0,9	1	2	0	14	20	3,8	3,2
	0,9	1,0	1,3	0,9	0,6	1,1	0	0	27	49	13	3,8	3,9
Máx.oxid.	1,7	2,0	1,7	1,8	1,5	1,2	22	15	29	55	56	3,8	3,9
Mín. oxid.	0,8	0,8	0,8	0,6	0,5	0,4	0	0	0	11	11	0,9	1,7
val.<1(%)	29	29	18	35	88	71							

5.6.2.3 Cor Verdadeira

Nas unidades de pré-tratamento, o parâmetro cor verdadeira apresentou redução que variou 20 a 43 por cento para valores nominais, na água bruta que variaram de 43 a 79 uH. Estes valores

estão acima dos recomendados para aplicação da FIME, 100 por cento dos valores inferiores a 25 uH e 95 por cento dos valores inferiores a 10 uH (PROSAB, 1999). Os filtros lentos reduziram a cor verdadeira para valores variando entre 10 e 36 uH (Tabela 5.82 e Tabela 5.3E do Anexo E).

TABELA 5.82 Valores de Cor Verdadeira (uH) para efluente da coluna de ozonização e dos filtros lentos e valores de Eficiência (%) - Carreira 5

	Jusante coluna	Filtro lento areia	Filtro lento areia-cag	F. lento areia cag-2	Eficiência (%)			Dose O3 (mg/L)
					F. lento areia	F. lento areia-cag	F. lento areia-cag2	
Máximo	—	38	41	35	42	43	57	—
Mínimo	—	13	15	10	11	2	3	—
Máximo	43	37	31	20	48	48	84	0,9
Mínimo	15	12	10	3	7	20	41	0,9
Máximo	38	25	28	17	58	63	61	2,2
Mínimo	19	10	9	8	0	20	19	1,6
Máximo	43	35	36	35	76	53	59	3,0
Mínimo	14	4	8	7	19	10	19	2,5
Máximo	20	15	9	9	25	55	55	3,7
Mínimo	22	21	19	19	5	14	14	3,7

Quando a condição de pré-ozonização foi utilizada a partir do 33º dia de operação o filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CA2) apresentou 35 por cento dos seus valores inferiores a 10 uH para cor verdadeira. Os menores valores para os efluentes da pré-ozonização e dos filtros lentos foi para dose de ozônio consumida entre 0,9 e 2,8 mg/L. Os maiores valores de redução ocorreram para dose consumida de 0,9 mg/L para o FLA-CAG2, de 1,6 a 2,2 mg/L para o CAG e de 2,5 a 3,0 mg/L para o filtro de areia.

FIGURA 5.118 Valores de Cor Verdadeira (C/Co) para efluente da pré-oxidação (JC), dos filtros lentos lentos (FLA, FLA-CAG e FLA-CAG2) - Carreira 5

5.6.2.4 Cor Aparente

No processo de Filtração em Múltiplas Etapas, utilizando-se ou não a pré-oxidação, não houve redução da cor aparente a valores que se enquadrassem dentro dos valores estabelecidos pelo padrão de potabilidade brasileiro, valor máximo permitido de 15 uH. Os valores medidos podem ser visualizados nas Tabelas 5.83 e C7.4F do Anexo F. Na Figura 5.119, pode-se visualizar os valores de C/Co para a cor aparente do efluente das unidades de filtração lenta

visualizar os valores de C/Co para a cor aparente do efluente das unidades de filtração lenta (FLA, FLA-CAG e FLA-CAG2). O FLA-CAG apresentou valores menores e reduções maiores para cor aparente, para dose de ozônio consumido igual a 0,9 mg/L, e o efluente dos filtros FLA e FLA-CAG apresentaram menores valores e reduções maiores para dose de ozônio consumida entre 2,5 e 3,3 mg/L.

TABELA 5.83 Valores máximos e mínimos de Cor Aparente (uH) para efluente da coluna de ozonização e dos filtros lentos e valores de Eficiência (%) - Carreira 5

Tempo operação (d)	Jusante coluna	Filtro lento	Filtro lento	Filtro lento	Eficiência(%)			Dose O ₃ (mg/L)
		areia	areia-cag	areia-cag2	Filtro areia	Filtro areia-cag	Filtro areia-cag - 2	
Máximo		84	83	72	55	50	67	
Mínimo		28	38	21	34	30	31	
Máximo	76	45	35	27	51	61	85	0,9
Mínimo	54	28	27	8	40	50	60	0,9
Máximo	75	39	47	38	66	63	74	2,2
Mínimo	50	25	25	13	36	37	40	1,6
Máximo	80	68	86	61	66	64	62	3,3
Mínimo	40	16	17	16	33	28	45	2,5
	53	21	24	26	60	55	51	3,6
	37	24	21	17	35	43	54	3,7
Máximo oxidação	80	68	86	61	66	64	85	3,7
Mínimo oxidação	37	16	17	8	33	28	40	0,8

Na Figura 5.119, pode ser visualizado o comportamento do sistema com relação ao parâmetro cor aparente. Houve redução da cor aparente ao longo do processo de tratamento, mas os valores para o efluente dos filtros lentos ficaram acima do valor de 15 uH.

FIGURA 5.119 Valores de Cor Aparente (C/Co) para efluente da pré-oxidação (JC), do filtro lento de areia (FLA), do filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG) e do filtro lento de areia como camada intermediária de carvão ativado granular inserido nesta carreira (FLA-CAG2) - Carreira 5

5.6.2.5 Oxigênio Consumido

No efluente do pré-tratamento a eficiência ficou entre de 32 a 50 por cento do conteúdo orgânico avaliado como oxigênio consumido. A remoção de matéria orgânica nas unidades de filtração lenta, quando se utilizou a pre-oxidação, foi diminuída ao longo da carreira de filtração. Os valores foram menores no final da carreira, para dose de ozônio consumida entre 0,9 e 2,2

mg/L (Tabela 5.184). Os valores nominais medidos durante a carreira estão representados na Figura 5.121.

TABELA 5.84 Valores de Oxigênio Consumido (mg/L) para efluente da coluna de ozonização e dos filtros lentos e valores de Eficiência (%) - Carreira 5

Tempo operação (d)	Pré-filtro vertical ascendente	Jusante coluna	Filtro lento areia	Filtro areia cag	Filtro areia cag-2	Eficiência (%)			Dose O ₃ (mg/L)
						Flento areia	F lento areia-cag	Filtro lento areia-cag-2	
19	2,05	2,05	0,90	0,70	0,10	56	66	95	—
27	1,95	1,95	2,10	0,60	2,55	0	69	0	—
63	1,05	0,85	0,05	0,05	0,05	94	94	94	0,9
71	0,95	0,70	0,30	0,00	0,00	57	100	100	2,2
56	1,15	0,45	0,10	0,25	0,30	78	44	33	2,4
50	1,10	0,75	0,55	0,20	0,30	27	73	60	2,4
Máximo	1,15	0,75	0,55	0,25	0,30	78	100	100	2,4
Mínimo	0,95	0,45	0,10	0,00	0,00	27	44	33	2,2

FIGURA 5.121 Valores de Oxigênio (C/Co) para efluente da pré-oxidação (JC), do filtro lento de areia (FLA), do filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG) e do filtro lento de areia como camada intermediária de carvão ativado granular inserido nesta carreira (FLA-CAG2) - Carreira 5

5.6.2.6 Bactérias Heterotróficas

Durante o processo de pré-tratamento, ocorreu remoção de 72 a 97 por cento de microrganismos avaliados como Bactérias Heterotróficas. Na pré-oxidação, para valores do afluente variando de 28 a 56 UFC/100 mL e dose de ozônio consumida variando de 2,2 a 4,6 mg/L, 67 por cento dos valores foram menores ou iguais a 5 UFC/100mL. O efluente dos filtros lentos apresentou concentrações de bactérias heterotróficas maiores que o afluente ozonizado, independente da dose de ozônio aplicada para as condições operacionais estudadas. Este aumento indica atividade bacteriana nos filtros lentos, não sendo observado diferença significativa entre o efluente dos filtros lentos FLA e FLA-CAG. O valor da dose de ozônio que proporcionou maior número de bactérias no efluente dos filtros lentos foi a dose de ozônio consumida igual a 2,4 mg/L. O resultados dos valores e reduções máximos e mínimos encontram-se na Tabela 5.85.

TABELA 5.85 Valores de Bactérias Heterotróficas (UFC/100mL) para efluente da coluna de ozonização e dos filtros lentos - Carreira 5

Tempo de operação (d)	Água bruta	Pré-filtro vertical ascendente	Jusante coluna	Filtro lento areia	Filtro lento areia-cag	Filtro lento areia-cag-2	Dose O3 (mg/L)
63	266	74	13	51	51	36	0,9
56	555	56	1	62	62	51	2,4
70	555	56	5	14	28	21	1,8
35	738	47	5	30	13	36	2,2
Máximo	738	56	5	62	62	51	2,4
Mínimo	555	47	1	14	13	21	1,8
42	—	28	1	21	13	26	2,7
50	623	36	1	22	23	39	4,6

5.6.2.7 Coliformes Totais

Os valores da água bruta para coliformes totais se enquadram dentro dos limites sugeridos por PROSAB, 1999 (95 por cento das amostras com valores inferiores a 10000 NMP/100ml) e pela ABNT, 1989 (20 por cento das amostras apresentem valores superiores a 5000 NMP/100mL), para aplicação de tecnologia de filtração em múltiplas etapas, com pré-tratamento e para tratamento de água sem coagulação química, respectivamente. Na pré-oxidação, a menor dose utilizada, 0,9 mg/L, produziu efluente com coliformes totais inferior a 2,0 NMP/100 ml. (Tabela 5.86). A pré-oxidação contribuiu para que o efluente do filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular apresentasse melhor qualidade bacteriológica, com 100 por cento dos valores medidos inferiores a 2,0 NMP/100 ml. Os efluentes do FLA-CAG 2 e do FLA foram bem próximos com relação ao conteúdo de coliformes totais, com 67 por cento e 83 por cento dos seus valores inferiores a 5 NMP/100 mL, respectivamente.

TABELA 5.86 Valores de Coliformes Totais (NMP/100mL) para efluente da coluna de ozonização e dos filtros lentos - Carreira 5

Tempo de operação (d)	Jusante coluna	Filtro lento areia	Filtro lento areia-cag	Filtro lento areia-cag-2
19	—	96	61	68
27	—	179	135	99
63	1	11	0	10
70	0	1	0	12
56	0	4	2	5
35	2	2	2	3
42	0	2	0	4
50	0	4	2	6
Máximo	2	4	2	6
Mínimo	0	2	0	3
val. =< 5 (%)	100	83	100	67

5.6.2.8 *Escherichia coli*

Para valores do afluente (MC) variando de 82 a 199 NMP/100 mL, os filtros lentos apresentaram 100 por cento dos valores medidos entre a 8,0 e 96 NMP/100 mL, para turbidez

no efluente dos filtros variando de 6,0 a 9,0, nos 19 e 27º dias de operação sem pré-oxidação. No efluente da pré-oxidação não foi detectada presença de microrganismos (*Escherichia coli*). (Tabela 5.87).

TABELA 5.87 Valores de *Escherichia coli* (NMP/100mL) para efluente da coluna de ozonização e dos filtros lentos - Carreira 5

Tempo de operação (d)	Água bruta	Montante coluna	Jusante coluna	Filtro lento areia	Filtro lento areia-cag	Filtro lento areia-cag-2	Dose O ₃ (mg/L)
19	—	199	—	15	8	9	—
27	—	82	—	62	96	31	—
Máximo	—	199	—	62	96	31	—
Mínimo	—	82	—	15	8	9	—
35	141	18	0	0	0	2	2
42	1355	19	0	1	0	0	3
50	248	31	0	0	1	2	4
56	866	16	0	0	1	2	2
63	308	12	0	0	0	1	1
70	461	55	0	0	0	0	2
Máximo	1355	55	0	1	1	2	4
Mínimo	141	12	0	0	0	0	1

5.6.2.9 Nitrogênio Amoniacal e Nitrato

A remoção do conteúdo de nitrogênio amoniacal pelos filtros lentos foi superior quando se utilizou a pré-oxidação, se considerar o período sem oxidação nesta carreira (Tabela 5.88). Os valores medidos para nitrogênio amoniacal estão representados na Figura 5.122.

TABELA 5.88 Valores de Nitrogênio amoniacal (mg/L) para efluente da coluna de ozonização e dos filtros lentos e valores de Eficiência (%) - Carreira 5

Tempo de operação (d)	Jusante coluna	Filtro lento areia	Filtro lento areia-cag	Filtro lento areia-cag-2	Eficiência (%)			Dose O ₃ (mg/L)
					F.lento areia	F.lento areia-cag	Filtro lento areia-cag 2	
19	—	0,05	0,06	0,08	50	40	20	—
27	—	0,08	0,05	0,04	20	50	60	—
63	0,09	0,02	0,04	0,03	78	56	67	0,9
71	0,17	0,08	0,04	0,06	53	76	65	2,2
35	0,09	0,08	nd	nd	11	100	100	2,2
42	0,10	0,06	0,05	0,04	40	50	60	2,7
50	0,09	0,03	0,02	0,02	67	78	78	3,8
Máximo	0,10	0,08	0,05	0,04	67	100	100	3,8
Mínimo	0,53	0,02	nd	nd	11	56	60	0,9

Os valores de nitrato apresentados pela água bruta e efluente das unidades filtrantes estão abaixo do preconizado para o padrão de potabilidade. O pré-tratamento não alterou o conteúdo de nitrato. O FLA-CAG2 apresentou efluente com valores menores. É interessante notar que no 35º dia de operação ocorreram os menores valores para nitrogênio amoniacal e os maiores valores para nitrato nos filtros lentos com camada intermediária de carvão ativado granular. Não foi encontrada causa específica para esta variação. Uma possível incorreção nas medidas poderia ser levada em consideração para as duas medidas que são realizadas

através de metodologias distintas. Os valores de C/C_0 estão apresentados na Figura 5.123 e os valores medidos estão apresentados na Tabela 5.89.

FIGURA 5.122 Valores de Nitrogênio Amônia (C/Co) para efluente da pré-oxidação (JC), do filtro lento de areia (FLA), do filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG) e do filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular inserido nesta carreira (FLA-CAG2) - Carreira 5

FIGURA 5.123 Valores de Nitrato (mg/L) para a efluente da pré-filtração C/Co para efluente da pré-oxidação (JC), do filtro lento de areia (FLA), do filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG) e filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular inserido nesta carreira (FLA-CAG2) - Carreira 5

TABELA 5.89 Valores de Nitrato (mg/L) para efluente da coluna de ozonização e dos filtros lentos e valores de Eficiência (%) - Carreira 5

Tempo operação (d)	Jusante coluna	Filtro lento areia	Filtro lento areia-cag	Filtro lento areia cag-2	Eficiência (%)			Dose O3 (mg/L)
					F.lento areia	F.lento areia-cag	Filtro lento areia-cag - 2	
63	0,48	0,41	0,19	0,03	14	61	94	0,9
71	0,40	0,34	0,14	0,06	15	64	86	2,2
35	0,12	0,54	0,49	0,51	0	0	0	2,2
42	0,12	0,35	0,12	0,09	0	2	28	2,7
56	0,11	0,10	0,05	0,01	14	58	89	2,8

5.6.2.10 Fosfato

O parâmetro fosfato foi medido em todas as carreiras mas somente foi apresentado este gráfico uma vez que a partir dele é possível compreender o comportamento dos filtros em relação a este parâmetro. As unidades filtrantes eram cobertas proporcionando redução no

conteúdo ao longo do processo de tratamento. A pré-oxidação não proporcionou aumento o conteúdo de fosfato para dosagem de ozônio consumida maior que 2 mg/L. O FLA-CAG2 apresentou em seu efluente, concentração de fosfato superior aos filtros lentos FLA e FLA-CAG proveniente do carvão ativado granular. A variação ocorrida no conteúdo de fosfato durante a carreira de filtração ao longo do processo de tratamento, pode ser visualizada na representação gráfica da Figura 5.124 e na Tabela 5.90. No pré-tratamento a eficiência ficou entre 22 e 77 por cento.

TABELA 5.90 Valores de Fosfato (mg/L) para efluente da coluna de ozonização e dos filtros lentos e valores de Eficiência (%) - Carreira 5

Tempo operação (d)	Jusante coluna	Filtro lento areia	Filtro lento areia-cag	Filtro lento areia cag-2	Eficiência (%)			Dose O ₃ (mg/L)
					F.lento areia	F.lento areia-cag	Filtro lento areia-cag - 2	
19	1,014	0,076	0,093	0,622	0	0	<0	
27	0,046	0,034	0,037	0,189	26	20	<0	
35	0,051	0,056	0,036	0,084	0	30	0	2,2
71	0,051	0,033	0,029	0,040	35	43	22	2,2
56	0,052	0,039	0,050	0,059	25	2	0	2,4
63	0,057	0,060	0,035	0,052	0	38	8	0,9

FIGURA 5.124 Valores de Fosfato (mg/L) para água bruta (AB), efluente da pré-oxidação (JC) e da filtração lenta (FLA, FLA-CAG e FLA-CAG2) - Carreira 5

5.6.2.11 Turbidez

Os valores medidos para turbidez da água bruta durante a carreira 13,6 a 34,4 uT foram inferiores aos propostos para aplicação da tecnologia FiME, ou seja, 100 por cento dos valores medidos inferiores a 200 uT. A eficiência do pré-tratamento para remoção de turbidez foi entre 28 e 63 por cento. No filtro lento de areia, 85 por cento dos valores foram inferiores a 5,0 uT, no filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular, 75 por cento dos valores foram inferiores a 5 uT; no FLA-CAG2, 100 por cento dos valores foram inferiores a 5,0 UT (Tabela C5.5E do Anexo E). A pré-oxidação foi mais efetiva para o filtro lento de areia quando comparado com o efluente do FLA-CAG, pois a partir do 38º dia os valores medidos foram inferiores a 5,0 UT, bem próximos aos valores medidos no efluente do FLA-CAG. Á partir do 33º dia de operação foi iniciado a pré-oxidação com ozônio. Deste dia até o final da carreira, os filtros lentos apresentaram turbidez no efluente inferior a 6,1 UT e valores para

Escherichia coli inferior a 2,0 NMP/100mL. Pode-se observar que não ocorreu comprometimento bacteriológico considerando a etapa final de desinfecção com cloro.

FIGURA 5.125 Valores de Turbidez (UT) para afluente (MC) e efluente da pré-oxidação (JC), do filtro lento de areia (FLA), do filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG) e do filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular inserido nesta carreira (FLA-CAG2) - Carreira 5

5.6.2.12 Sólidos Suspensos Totais

A carga de sólidos retida no pré-tratamento foi de 61 a 90 por cento, para variação de sólidos suspensos totais, na água bruta, de 5,2 a 10,7 mg/L (Figura 5.126). A pré-oxidação não diminuiu o conteúdo de sólidos suspenso totais e mas foi observada diminuição no conteúdo de sólidos suspensos totais no efluente dos filtros lentos, quando comparados com a condição sem pré-ozonização; os filtros lentos apresentaram valores para sólidos suspensos totais inferiores a 0,9 mg/L (Tabela 5.91). Se comparado com os valores obtidos na Carreira 2 (sem a utilização de pré-oxidação), a pré-oxidação utilizada na Carreira 5 não proporcionou efluente dos filtros lentos com melhor qualidade avaliada como sólidos suspensos totais. No efluente do FLA-CAG2, para o 19º dia o valor foram maior que o efluente. O afluente (AB) no dia 19 foi de 5,9 mg/L. Este comportamento pode ser justificado pelo carreamento de impurezas do carvão ativado granular que foi colocado no interior do filtro lente sem prévia lavagem. O mesmo comportamento foi observado no FLA-CAG para Carreira 1. Nesta carreira o efluente apresentou valores menores após o 43º dia de operação. Até o 43º dia o afluente (AB) variou entre 118,0 e 11,1 mg/L.

FIGURA 5.126 Valores de Sólidos Suspensos Totais (C/Co) para efluente da pré-oxidação (JC), do filtro lento de areia (FLA) do filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG), e filtro lento de areia como camada intermediária de carvão ativado granular inserido nesta carreira (FLA-CAG2) - Carreira 5

TABELA 5.91 Valores de Sólidos Suspensos Totais (mg/L) para efluente da coluna de ozonização e dos filtros lentos e valores de Eficiência (%) - Carreira 5

Tempo operação (d)	Água bruta	Montante coluna	Jusante coluna	Filtro lento areia	Filtro lento areia-cag	Filtro areia cag-2	Eficiência (%)				Filtro areia-cag - 2	Dose O3 (mg/L)
							Pré- Trat.	Pré- oxid.	F.lento areia	F.lento areia-cag		
19	5,9	1,1	—	1,0	0,7	1,3	81	—	9	36	<0	—
27	6,4	2,5	—	0,9	0,9	1,9	61	—	64	64	24	—
56	10,7	1,1	1,0	0,4	0,4	0,1	90	9	60	60	90	2,4
70	5,2	0,9	3,0	0,4	0,8	0,6	83	0	87	73	80	1,8
35	6,5	2,0	1,1	0,1	0,1	0,2	69	45	91	91	82	2,9
42	6,7	2,1	2,1	0,8	0,9	0,6	69	0	62	57	71	2,7
49	6,4	0,9	1,2	0,1	0,2	0,1	86	0	92	83	92	2,5
Máximo	10,7	2,5	3,0	0,8	0,9	0,6	86	45	92	91	92	2,9
Mínimo	5,2	0,9	1,0	0,1	0,1	0,1	69	0	62	57	71	1,8

5.6.2.13 Condutividade Elétrica

Os valores medidos para condutividade foram pequenos e não ocorreu variação durante o processo de tratamento. Os valores de C/Co para condutividade podem ser visualizados na Tabela 5.92. A pré-oxidação não contribuiu para a diminuição de sólidos medida como condutividade nos filtros lentos, quando comparada com as condições sem ozonização.

TABELA 5.92 Valores de Condutividade Elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) para efluente da coluna de ozonização e dos filtros lentos e valores de Eficiência (%) - Carreira 5

Tempo operação (d)	Jusante coluna	Filtro lento areia	Filtro lento areia-cag	Filtro areia cag-2	Eficiência (%)			Dose O3 (mg/L)
					F.lento areia	F.lento areia-cag	F.lento areia-cag - 2	
19	15,9	16,9	12,3	12,9	0	23	19	—
27	17,4	16,0	14,0	14,2	8	19	18	—
63	15,5	15,8	13,1	14,9	0	16	4	0,9
71	16,2	17,4	12,3	13,6	0	24	16	2,2
35	—	16,9	16,1	15,4	0	0	3	2,2
56	17,0	16,6	13,9	13,8	2	18	19	2,4
50	16,7	15,6	14,2	16,1	7	15	3	2,4

5.6.2.14 Alcalinidade, pH, Oxigênio Dissolvido e Temperatura

Estes parâmetros foram monitorados para que fosse possível identificar variações que pudessem ocorrer no afluente e provocar alterações nas unidades de tratamento. Não foi observada tendência de comportamento do sistema que pudesse ter sido influenciada por variação na medida destes parâmetros. Os valores medidos para alcalinidade encontram-se na Tabela 5.93; para o pH, na Tabela C5.6E do Anexo E; para temperatura, na Tabela C5.7E do Anexo E; para Oxigênio Dissolvido, Tabela 5.94 e Tabela C5. E do Anexo E.

TABELA 5.93 Valores Alcalinidade (mg/L- CaCO_3) para efluente da coluna de ozonização e dos filtros lentos e valores - Carreira 5

Tempo operação (d)	Montante coluna	Jusante coluna	Filtro lento areia	Filtro lento areia-cag
19	—	—	4,4	3,7
27	—	—	6,2	5,5
63	7,4	8,4	6,2	11,4
71	12,6	12,0	16,0	11,6
35	7,1	6,7	7,4	7,4
42	8,4	8,2	8,0	8,4
56	7,8	7,2	10,0	7,2
50	8,0	7,6	6,4	8,4
Máximo	12,6	12,0	16,0	11,6
Mínimo	7,1	6,7	6,2	7,2

A variação do oxigênio dissolvido durante o processo de tratamento pode ser visualizada na Tabela 5.148. Os filtros lentos de areia com camada intermediária de carvão ativado granular apresentaram valores bem inferiores, quando comparados com o filtro lento de areia. Este decréscimo no conteúdo de oxigênio dissolvido observado no filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular, desde o início de operação do sistema, indica reações químicas que ocorrem com o carvão ativado e o oxigênio, podendo estas reações contribuir na redução de atrazina e orgânicos, pelo carvão ativado granular. Na literatura alguns autores (PROBER et al., 1975; VIDIC & SULDAM, 1991; VANDERLOOP et al., 1997) incluem a oxidação química na camada de carvão ativado granular na presença de oxigênio molecular que pode conduzir a polimerização ou degradação de moléculas e aumentar a capacidade de adsorção de alguns compostos orgânicos.

TABELA 5.94 Valores de Oxigênio Dissolvido para efluente da coluna de ozonização e dos filtros lentos e valores de Eficiência (%) - Carreira 5

Tempo operação (d)	Jusante coluna	Filtro lento areia	Filtro areia cag	Filtro areia cag-2
19	8,6	8,7	1,8	2,7
27	8,5	8,5	1,0	4,7
35	28,2	8,4	1,6	6,0
42	22,4	8,1	2,9	5,6
50	22,1	8,2	3,1	2,7
63	18,5	8,8	4,4	6,2
71	28,5	9,2	3,9	2,8
Máximo	28,5	9,2	4,4	6,2
Mínimo	8,5	8,1	1,0	2,7

5.6.2.15 Perda de Carga

Na Figura 5.127, pode-se observar o desenvolvimento da perda de carga no filtro lento de areia e no filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular. É interessante notar que, com o início da ozonização, houve alteração na declividade da curva de perda de carga dos filtros lentos. Para o filtro lento de areia, a declividade foi aumentada com o aumento da dose de ozônio e decresceu com o decréscimo da dose de ozônio. Para os filtros lentos de areia com camada intermediária de carvão ativado granular, ocorreu o comportamento inverso. Este comportamento pode ser atribuído a alteração ocorrida nos compostos presentes na água pela oxidação com ozônio. O comportamento diferente entre os dois filtros ocorreu devido a diferença na camada filtrante. Pode-se inferir que os processos de remoção não foi observada alteração na qualidade do efluente ocorrida pela mudança de declividade nas curvas de perda de carga. A carreira de filtração foi encerrada após 72 dias de operação quando o filtro lento de areia atingiu a carga hidráulica total disponível, de 100 cm. Os valores diários medidos podem ser observados na Tabela C5.8E do Anexo E.

FIGURA 5.127 Valores Perda de Carga (cm) e de Taxa de Aplicação Superficial para as unidades de filtração lenta - Carreira 5

5.6.2.16 Atrazina

O efluente do filtro lento de areia apresentou maior redução para atrazina, para dose de ozônio consumida entre 0,9 e 2,2 mg/L. Para o filtro lento de areia o efluente apresentou concentração inferior a 7,4 µg/L, para dose de ozônio consumida superior a 1,6 mg/L e a concentração afluente de atrazina na coluna de ozonização variou de 1,245 110,25 µg/L. Os valores medidos para atrazina durante a carreira de filtração podem ser visualizados na Figura 5.7.21 e na Tabela 5.95. A redução no filtro lento de areia é bastante dependente da redução ocorrida na pré-oxidação. Os efluentes dos filtros de areia com camada intermediária de carvão ativado granular, FLA-CAG e FLA-CAG2, apresentaram valores inferiores a 2,0 µg/L quando a concentração de atrazina no afluente variou entre 5 e 57 µg/L quando a pré-ozonização não foi utilizada. É importante ressaltar que a camada de carvão ativado granular continuou removendo atrazina após 352 dias de operação contínua, com volume de água tratado de 629 m³ para valores inferiores a 2,0 µg/L. O padrão de potabilidade brasileiro admite 2,0 µg/L como

valor máximo permissível para a atrazina. Para dose de ozônio aplicada igual a 1,0 mg/L e afluente variando de 29,5 a 59,4 µg/L, o efluente ozonizado apresentou valores maiores que 2,0 µg/L e os filtros lentos de areia com camada intermediária de carvão ativado granular, FLA-CAG e FLA-CAG2, apresentaram efluente com valores menores que 0,1 µg/L, enquadrando-se dentro dos padrões de potabilidade mais restritivos. Para dose de ozônio aplicada igual a 2,0 mg/L e afluente variando de 39,4 a 86,3 µg/L, somente para o menor valor o efluente ozonizado (JC) apresentou valor inferior a 2,0 µg/L. O FLA-CAG2, apresentou em seu efluente valores para atrazina bem próximos ao apresentado pelo FLA-CAG, sugerindo que o mecanismo de remoção nos dois filtros, foi o mesmo, e a camada de carvão ativado do FLA-CAG não perdeu sua capacidade de remoção de atrazina para as condições do trabalho. Uma condição interessante de se observar é que o FLA-CAG 2, nas condições em que a ozonização não foi utilizada, apresentou concentração em seu afluente inferior a 2µg/L desde o início de operação da carreira para concentração no afluente variando entre 6,5 e 55,53 µg/L. Somente a ozonização não reduziu, nas condições estudadas, o valor de atrazina para valores inferiores a 0,1 µg/L. Para reduzir a atrazina a estes valores, é necessário a utilização de pré-oxidação seguida de filtração lenta com camada de carvão ativado. Este processo é chamado de filtração biológica e tem sido atualmente empregado para atendimento a novos padrões de potabilidade no que tange à remoção de contaminantes orgânicos principalmente pesticidas.

TABELA 5.95 Valores de Atrazina (µg/L) para efluente da coluna de ozonização e dos filtros lentos e valores de Eficiência (%) - Carreira 5

Tempo operação (d)	Montante coluna	Jusante coluna	Filtro lento areia	Filtro areia cag	Filtro areia cag-2	Eficiência (%)			O3 (mg/L)
						Filtro areia	Filtro areia-cag	Filtro areia-cag-2	
19	51,670	...	55,530	0,330	0,300	0,0	99,4	99,4	...
22	56,980	...	56,497	0,200	0,089	0,8	99,6	99,8	...
26	8,180	...	10,820	0,318	0,346	0,0	96,1	95,8	...
29	5,090	...	6,496	0,044	0,010	0,0	99,1	99,8	...
Máximo	56,980	...	56,497	0,330	0,346	0,8	99,6	99,8	...
Mínimo	5,090	...	6,496	0,044	0,010	0,0	96,1	95,8	...
63	59,107	20,609	9,990	0,017	0,034	52	99,9	99,8	0,9
66	45,330	8,297	4,080	0,047	0,089	51	99,4	98,9	0,9
67	29,520	10,670	6,020	0,055	0,037	44	99,5	99,7	0,8
68	86,270	3,950	1,800	0,065	0,032	54	98,4	99,2	1,6
69	46,930	7,470	1,360	0,039	0,030	82	99,5	99,6	1,7
71	34,460	1,780	1,420	nd	nd	20	100,0	100,0	2,2
33	2,210	1,240	0,260	0,026	0,007	79	97,9	99,4	2,7
41	78,890	0,494	0,845	0,100	0,047	0	79,8	90,5	2,7
43	110,252	1,060	1,630	0,072	0,016	0	93,2	98,5	3,7
Máximo O3	110,252	20,609	9,990	0,100	0,089	82	100,0	100,0	3,7
Mínimo O3	2,210	0,494	0,260	0,017	0,007	0	79,8	90,5	0,8

FIGURA 5.128 Valores Atrazina ($\mu\text{g/L}$) para efluente da pré-oxidação (JC), do filtro lento de areia (FLA) e dos filtros lentos de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG) e (FLA-CAG2) - Carreira 5

5.6.2.17 Subprodutos

5.6.2.17.1 Atrazina desetil

O comportamento de redução de atrazina e subprodutos nos filtros lentos foi diferente, considerando o meio filtrante. A pré-oxidação reduziu o conteúdo de atrazina no efluente ozonizado e aumentou a concentração de subprodutos no efluente, como subproduto da oxidação de atrazina. No filtro lento de areia, para a maioria dos valores medidos para o atrazina desetil, houve aumento da concentração no efluente, indicando oxidação biológica da atrazina sem a utilização da pré-oxidação. Nas condições de utilização da pré-oxidação ocorreu também aumento do conteúdo de atrazina desetil no efluente, exceto para a condição do efluente ozonizado com concentração de $15 \mu\text{g/L}$. Para os filtros lentos de areia com camada intermediária de carvão ativado granular, o comportamento foi bastante similar para os dois filtros (FLA-CAG e FLA-CAG2). Na condição em que não houve a utilização da pré-oxidação, houve aumento e redução no conteúdo, dependendo da concentração no afluente, existindo a condição de formação e redução de atrazina desetil. Quando a pré-oxidação foi utilizada nesses filtros, ocorreu sempre a redução no conteúdo de atrazina desetil, contribuindo para a qualidade do efluente com relação a potabilidade. Na Figura 5.129 e na Tabela 5.96 encontram-se os valores medidos para o atrazina desetil.

Os processos de redução nos leitos de areia e de carvão ativado granular parecem ser distintos: no leito de areia a redução de atrazina e subprodutos ocorreu pela oxidação biológica; no leito de carvão ativado granular, ocorreu o processo de adsorção, que inclui processo biológico, físico e químico. A atrazina desetil é mais biodegradável (se o processo é biodegradação) ou mais oxidável se considerarmos o leito de carvão ativado granular (CAG). a atrazina desetil é o primeiro produto intermediário da biodegradação e da oxidação de atrazina. Na redução do conteúdo de atrazina desetil, os menores valores foram para o FLA-CAG, seguido pelo FLA e FLA-CAG2, para a condição sem pré-oxidação. Para a condição de pré-

oxidação, o FLA-CAG2 apresentou valores menores seguido do FLA-CAG e, por último, do FLA.

FIGURA 5.129 Valores para atrazina desetil ($\mu\text{g/L}$) para o efluente da pré-oxidação (JC), do filtro lento de areia (FLA) e dos filtros lentos de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG e FLA-CAG2) – Carreira 5

TABELA 5.96 Valores de atrazina desetil ($\mu\text{g/L}$) para efluente da coluna de ozonização e dos filtros lentos e valores de Eficiência (%) – Carreira 5

Tempo operação (d)	Dose O_3 (mg/L)	Montante coluna	Jusante coluna	Filtro areia	Filtro a-cag	Filtro a-cag2	Eficiência (%)		
							F. areia	F. a-cag	F. a-cag-2
19	0,0	—	nd	0,052	0,002	0,004	0	0	0
22	0,0	—	0,115	0,031	0,040	0,030	72,9	65,3	74,0
26	0,0	—	0,008	nd	0,002	0,013	100,0	72,2	0,0
29	0,0	—	nd	0,066	0,031	0,092	0,0	0,0	0,0
67	0,8	0,179	7,096	7,409	0,150	0,043	0,0	97,9	99,4
63	0,9	nd	15,969	8,645	0,004	0,010	45,9	100,0	99,9
66	0,9	0,350	5,289	5,424	0,004	0,004	0,0	99,9	99,9
68	1,6	nd	4,010	4,837	0,038	0,074	0,0	99,0	98,2
69	1,7	0,369	7,815	18,798	nd	0,043	0,0	100,0	99,4
71	2,2	nd	2,144	4,376	nd	nd	0,0	100,0	100,0
33	2,7	nd	0,083	0,149	0,004	0,004	0,0	95,5	95,2
41	2,7	nd	1,694	2,837	0,067	0,065	0,0	96,0	96,2
43	3,7	nd	3,4240	4,6490	0,0050	nd	0,0	99,9	100,0
Máximo s/O_3	—	—	—	0,066	0,040	0,092	100,0	72,2	74,0
Mínimo s/O_3	—	—	—	nd	nd	nd	0,0	0,0	0,0
Máximo c/O_3	3,7	0,369	15,969	18,798	0,150	0,074	45,9	100,0	100,0
Mínimo c/O_3	0,8	nd	nd	0,149	nd	nd	0,0	0,0	95,2

5.6.2.17.2 Atrazina desisopropil

Na pré-oxidação, ocorreu a formação de atrazina desisopropil como subproduto da oxidação de atrazina. No filtro lento de areia, o atrazina desisopropil alternou entre remoção e formação como consequência da oxidação biológica da atrazina. No filtro de areia com camada intermediária de carvão ativado granular nova (FLA-CAG2), ocorreu formação quando o afluente foi inferior a $0,078 \mu\text{g/L}$ para as condições sem e com pré-oxidação. Para o filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular em uso (FLA-CAG), para as condições sem pré-oxidação, houve alternância entre o aparecimento e redução de atrazina

desisopropil. Quando a pré-oxidação não foi utilizada, o efluente do filtro lento de areia com camada intermediária (FLA-CAG) apresentou menores valores, seguido do FLA-CAG2 e do FLA. Quando a pré-oxidação foi utilizada, os menores valores no efluente foram apresentados pelo FLA, seguido do FLA-CAG2 e do FLA-CAG. Os valores medidos encontram-se na Tabela 5.97 e na Figura 5.130.

FIGURA 5.130 Valores atrazina desisopropil ($\mu\text{g/L}$) para o efluente da pré-oxidação (JC), do filtro lento de areia (FLA) e dos filtros lentos de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG) e (FLA-CAG2) – Carreira

TABELA 5.97 Valores de atrazina desisopropil ($\mu\text{g/L}$) para efluente da coluna de ozonização e dos filtros lentos e valores de Eficiência (%) - Carreira 5

Tempo operação (d)	Dose O_3 (mg/L)	Jusante coluna	Filtro areia	Filtro areia-cag	Filtro areia-cag2	Eficiência (%)		
						Filtro areia	F. areia-cag	F. areia-cag
19	0,0	0,007	0,005	0,003	0,010	27,5	50,3	0,0
22	0,0	0,149	nd	0,051	0,046	100,0	65,8	69,0
26	0,0	0,003	0,010	0,007	0,026	0,0	0,0	0,0
29	0,0	0,003	0,022	0,000	nd	0,0	90,9	100,0
67	0,8	0,282	0,929	0,023	0,021	0,0	91,9	92,4
63	0,9	1,986	1,200	nd	nd	39,6	100,0	100,0
66	0,9	0,995	0,940	nd	nd	5,5	100,0	100,0
68	1,6	0,067	0,367	nd	0,081	0,0	100,0	0,0
69	1,7	0,467	0,776	nd	0,066	0,0	100,0	85,8
71	2,2	0,597	0,550	0,001	nd	7,9	99,9	100,0
33	2,7	0,001	nd	0,040	0,018	100,0	0,0	0,0
41	2,7	0,078	0,001	0,053	0,330	98,4	32,2	0,0
43	3,7	0,250	0,440	nd	0,011	0,0	100,0	95,7
Máximo s/ O_3	—	0,149	0,022	0,051	0,046	100,0	90,9	100,0
Mínimo s/ O_3	—	0,003	nd	nd	nd	0,0	0,0	0,0
Máximo c/ O_3	3,7	1,986	1,200	0,053	0,330	100,0	100,0	100,0
Mínimo c/ O_3	0,8	nd	0,001	0,001	0,011	0,0	0,0	0,0

5.6.2.17.3 Atrazina desetil-2-hidroxil

Nos filtros lentos, o atrazina desetil-2-hidroxil alternou entre remoção e formação, como consequência da oxidação biológica da atrazina para as condições sem a utilização e com a utilização da pré-ozonização. Quando não foi utilizada a pré-oxidação, o efluente do FLA apresentou valores menores em seu efluente, seguidos pelo FLA-CAG e após pelo FLA-CAG2. Quando a pré-oxidação foi utilizada, o FLA apresentou também efluente com valores menores,

TABELA 5.98 Valores de atrazina desetil-2-hidroxi ($\mu\text{g/L}$) para efluente da coluna de ozonização e dos filtros lentos e valores de Eficiência (%) - Carreira 5

Tempo operação (d)	Dose O_3 (mg/L)	Jusante	Filtro	Filtro	Filtro	Eficiência (%)		
		coluna	areia	areia-cag	areia-cag2	Filtro areia	F. areia-cag	F. areia-cag-2
19	0,0	0,006	0,028	0,001	0,010	0,0	83,9	0,0
22	0,0	0,174	0,228	0,007	0,020	0,0	96,1	88,8
26	0,0	0,285	0,272	0,120	nd	4,6	57,9	100,0
29	0,0	0,000	0,001	0,001	0,023	0,0	0,0	0,0
67	0,8	0,361	0,349	nd	0,003	3,3	100,0	99,1
63	0,9	0,982	0,976	0,579	0,581	0,6	41,0	40,8
66	0,9	0,557	0,623	0,579	0,581	0,0	0,0	0,0
68	1,6	0,004	0,309	0,007	nd	0,0	0,0	100,0
69	1,7	1,441	0,674	0,000	0,002	53,2	100,0	99,9
71	2,2	1,090	nd	0,020	0,239	100,0	98,1	78,1
33	2,7	nd	0,109	nd	0,002	0,0	100,0	0,0
41	2,7	2,005	1,034	nd	0,834	48,4	100,0	58,4
43	3,7	0,936	1,604	0,005	0,133	0,0	99,5	85,8
Máximo s/O_3	—	—	0,272	0,120	0,023	4,6	96,1	100,0
Mínimo s/O_3	—	—	nd	nd	nd	0,0	0,0	0,0
Máximo c/O_3	3,7	2,005	1,604	0,579	0,834	100,0	100,0	100,0
Mínimo c/O_3	0,8	nd	nd	nd	nd	0,0	0,0	0,0

FIGURA 5.131 Valores para atrazina desetil-2-hidroxi ($\mu\text{g/L}$) para o efluente ozonizado (JC), o efluente do filtro lento de areia (FLA) e dos filtros lentos com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG) e (FLA-CAG2) – Carreira 5

Além dos limites estabelecidos pelos padrões europeus, para o conteúdo de atrazina máximo de $0,1 \mu\text{g/L}$, as legislações contemplam também o limite máximo de $0,5 \mu\text{g/L}$ para somatória dos subprodutos e produtos de degradação destes. Na Tabela 5.153 foram colocados os resultados da somatória de atrazina mais os subprodutos quantificados neste trabalho (atrazina desetil, atrazina desisopropil, atrazina desetil-2-hidroxi). Outros subprodutos ou produtos de degradação podem existir, mas esta análise se limitou às condições operacionais do trabalho e aos subprodutos quantificados. Na condição sem pré-oxidação, os filtros lentos com camada intermediária de carvão ativado granular atenderam à condição de valor máximo de $0,5 \mu\text{g/L}$, para afluente de atrazina entre $7,7$ e $54,7 \mu\text{g/L}$. Para a dose de ozônio consumida de $0,8 \text{ mg/L}$, o efluente atende às condições para concentração no afluente inferior a $29,84 \mu\text{g/L}$. Para dose

de ozônio aplicada superior a 1,6 mg/L, o efluente do filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular atende às condições para afluente variando de 1,3 a 109,1 µg/L. Para o FLA-CAG2, para dose de ozônio entre 1,7 e 2,7 e afluente entre 1,3 e 47,3 µg/L e para dose de ozônio de 3,7 mg/L e concentração de atrazina igual a 109,1 µg/L, a condição acima é atendida. Os valores menores apresentados pelo FLA-CAG indicam que a participação de microrganismos presentes no carvão ativado granular adaptados ao afluente podem ter contribuído. Considerando estes resultados existe, indicação que o decréscimo na concentração de atrazina no leito de carvão ativado granular é uma combinação dos processos biológicos, químicos e físicos denominados na discussão deste trabalho de adsorção. Estes resultados concordam com as considerações apresentadas pelos autores (DUSSERT & STONE, 1994; ECKENFELDER et al., 1972; PROBER et al., 1975; VIDIC & SULDAM, 1991; VANDERLOOP et al., 1997) que discutiram a dificuldade de definir qual processo está influenciando na redução de contaminantes quando é utilizada uma água natural com presença de matéria orgânica e variações na qualidade da água ao longo do tempo.

TABELA 5.99 Soma de atrazina mais subprodutos (µg/L) para afluente e efluente da coluna de ozonização, efluente e dos filtros lentos e valores de Eficiência (%) - Carreira 5

Tempo operação (d)	Montante coluna	Jusante coluna	Filtro areia	Filtro areia-cag	Filtro areia-cag2	O3 consumido(mg/L)
19	—	54,743	55,659	0,125	0,196	—
22	—	17,906	54,926	0,247	0,105	—
26	—	7,728	10,083	0,290	0,279	—
29	—	80,377	120,669	0,662	0,580	—
67	29,840	18,299	14,681	0,229	0,107	0,8
63	66,773	37,237	19,726	0,642	0,683	0,9
66	44,995	15,083	11,037	0,642	0,644	0,9
68	85,146	7,904	7,309		0,828	1,6
69	47,342	17,174	27,017	0,047	0,141	1,7
71	39,818	5,978	6,226	0,096	0,381	2,2
33	1,286	1,300	0,516	0,070	0,031	2,7
41	78,224	4,075	4,673	0,216	1,280	2,7
43	109,052	5,550	8,294	0,097	0,160	3,7
Máximo	109,052	37,237	27,017	0,642	1,280	3,7
Mínimo	1,286	1,300	0,516	0,047	0,031	0,8

Nas Figuras 5.124 a 5.128 são apresentados os cromatogramas do 71º dia de operação para dose de ozônio consumida de 2,2 mg/L. Na Figura 5.124 encontra-se o cromatograma para o afluente à coluna de ozonização, na Figura 5.125 para o efluente da coluna de ozonização, na Figura 5.126 para o efluente do filtro lento de areia, na Figura 5.127 para o efluente do filtro lento de areia com camada intermediária (FLA-CAG) e na Figura 5.128 para o efluente do filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado colocado em operação nesta carreira (FLA-CAG2).

FIGURA 5.132 Cromatograma (HPLC-UV) do afluente à coluna de ozonização (MC) para o 71º dia de operação. Os números representam o metabólito atrazina desetil (3) e a atrazina (4). Condições experimentais descritas no item 4.4.1.

FIGURA 5.133 Cromatograma (HPLC-UV) do efluente da coluna de ozonização (JC) para o 71º dia de operação, para dose de ozônio consumida de 2,2 mg/L. Os números representam o metabólito atrazina desetil-2-hidroxil (1), atrazina desisopropil (2), atrazina desetil (3) e a atrazina (4). Condições experimentais descritas no item 4.4.1.

FIGURA 5.134 Cromatograma (HPLC-UV) do efluente do filtro lento de areia (FLA) para o 71º dia de operação, para dose de ozônio consumida de 2,2 mg/L. Os números representam o metabólito atrazina desisopropil (2), atrazina desetil (3) e a atrazina (4). Condições experimentais descritas no item 4.4.1.

FIGURA 5.135 Cromatograma (HPLC-UV) do efluente do filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG) para o 71º dia de operação, para dose de ozônio consumida de 2,2 mg/L. Os números representam o metabólito atrazina desetil-2-hidroxil (1) e a atrazina (4). Condições experimentais descritas no item 4.4.1.

FIGURA 5.136 Cromatograma (HPLC-UV) do efluente do filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular novo (FLA-CAG-2) para o 71º dia de operação, para dose de ozônio consumida de 2,2 mg/L. O número (4) representa a atrazina. Condições experimentais descritas no item 4.4.1.

5.6.2.18 Considerações finais

Quando se trabalha com água bruta natural, existe dificuldade em comparar resultados entre carreiras uma vez que a eficiência do sistema é dependente das características do afluente e das limitações físicas e operacionais deste. As comparações aqui feitas não são absolutas e sim indicativas. A pré-oxidação não contribuiu para a redução de sólidos medida como condutividade, sólidos suspensos totais e turbidez no efluente dos filtros lentos, quando comparado com as condições sem ozonização. A oxidação não contribuiu significativamente para redução no conteúdo de cor verdadeira e aparente nos filtros lentos, quando comparada com as condições sem a pré-oxidação. Os filtros lentos de areia com camada intermediária de carvão ativado granular apresentaram efluentes com qualidade bem próximas, mas os valores não foram enquadrados dentro do padrão de potabilidade para cor aparente. Para absorvância, a oxidação teve um efeito melhor na redução no filtro lento de areia quando comparado com

as condições sem oxidação. Apesar da pré-oxidação ter reduzido o número de microrganismos a valores nulos, no efluente dos filtros lentos a qualidade foi semelhante a apresentada quando a pré-oxidação não foi utilizada.

De acordo com os resultados obtidos, existe indicação que nos filtros lentos com leito de areia e de carvão ativado granular os processos que promovem remoção de matéria orgânica natural e atrazina são distintos: no leito de areia a remoção é atribuída ao processo biológico, e no leito de carvão ativado granular a remoção pode ser atribuída ao processo chamado aqui de adsorção, que inclui processo biológico, físico e químico. Esta consideração pode ser levada em conta uma vez que, o número de microrganismos (avaliado como bactérias heterotróficas) no efluente dos filtros lentos não apresentou diferenças significativas que indicasse que a maior eficiência do carvão ativado granular seja devido somente à capacidade do carvão ativado granular em ser meio suporte propício ao maior crescimento de microrganismos. Os menores valores no conteúdo de oxigênio dissolvido observado no filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular desde o início de operação do sistema indica reações químicas que ocorrem no leito de carvão ativado granular, podendo estas reações contribuir na redução de atrazina e orgânicos. Os autores (PROBER et al., 1975; VIDIC & SULDAM, 1991; VANDERLOOP et al., 1997) incluem o processo de oxidação química na camada de carvão ativado granular na presença de oxigênio molecular que pode conduzir a polimerização ou degradação de moléculas e aumentar a capacidade de adsorção de alguns compostos orgânicos.

O processo de pré-oxidação foi importante na redução de atrazina, contribuindo para que os efluentes dos filtros lentos com camadas intermediárias de carvão ativado granular enquadrassem dentro dos limites mais restritivos estabelecidos para atrazina e subprodutos como o padrão de potabilidade europeu. O atrazina desetil é o primeiro produto intermediário na oxidação química e biológica da atrazina. Estes resultados concordam com os apresentados pela literatura por (SCHLATER et al., 2000 e ADAMS & RANDTKE, 1992)

A associação do processo de pré-oxidação com ozônio e filtração lenta com camada intermediária de carvão ativado granular permitiu a redução de atrazina e subprodutos de oxidação da atrazina a valores que se enquadrem dentro dos padrões de potabilidade brasileiro e dos padrões mais restritivos como os europeus.

Os processos de pré-oxidação e biológico são dependentes: da qualidade do afluente, configurações do sistema de tratamento, características químicas do composto a ser removido bem como sua concentração no afluente. Para aplicação deste processo é recomendável estudo em instalação piloto para adequação do sistema de ozonização que demanda tempo e alterações operacionais constantes.

5.7 Pré-oxidação com Ozônio e Peróxido de Hidrogênio – Filtração Lenta –

Carreira 6

A atrazina, como Gesaprim, foi adicionada à montante da coluna de ozonização no 12º dia de operação, quando os filtros lentos estavam operando com a taxa de $4 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$. O ozônio foi introduzido a partir do 15º dia de operação e o peróxido de hidrogênio foi introduzido no 19º dia de operação. A carreira teve duração de 62 dias com o encerramento da carga hidráulica disponível no filtro lento de areia. A carreira teve início após o sistema estar em funcionamento por 424 dias, com volume total de água tratada de $758,7 \text{ m}^3$.

5.7.1 Absorvância

No pré-tratamento a diminuição no conteúdo orgânico medido como absorvância foi inferior a 62 por cento, para valores na água bruta variando de 0,04 a $0,188 \text{ cm}^{-1}$ (Tabela C6. 1F do Anexo F). O efluente do filtro lento com camada intermediária de carvão ativado granular apresentou valores menores que o do FLA e redução maior (entre 43 a 63 por cento). Para as condições de oxidação utilizadas o FLA apresentou valores menores ($0,025$ e $0,028 \text{ cm}^{-1}$), quando a relação $\text{H}_2\text{O}_2/\text{O}_3$ ficou entre a 0,1 e 0,2 (Tabela 5.100). Esta condição foi bastante semelhante quando foi utilizada a oxidação com ozônio para dose de $3,8 \text{ mg/L}$. Considerando estas duas condições operacionais, a pré-oxidação com ozônio associado ao peróxido de hidrogênio seria mais adequada se o objetivo fosse redução de absorvância para estes limites. Para o filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular, a maior redução foi para relação $\text{H}_2\text{O}_2/\text{O}_3$ entre 0,7 e 1,0 e para oxidação com ozônio somente (Tabela 5.100). Após o 24º dia de operação, o filtro lento com camada intermediária de carvão ativado granular apresentou efluente com características para redução de absorvância melhores que o FLA (Figura 5.137).

Tabela 5.100 Valores de Absorvância ($\text{UV-254 nm} - \text{cm}^{-1}$) para efluente da pré-oxidação (JC) e dos filtros lentos de areia e carvão ativado granular e de Eficiência (%) - Carreira 6

	Jusante coluna	Filtro areia cag	Filtro lento areia	Eficiência (%)		Relação H_2O_2 / O_3
				F.lento areia-cag	F.lento areia	
Máximo	0,056	0,030	0,028	51	52	0,2
Mínimo	0,035	0,019	0,025	36	28	0,1
Máximo	0,110	0,055	0,096	56	30	0,6
Mínimo	0,043	0,019	0,030	50	13	0,5
Máximo	0,134	0,053	0,093	61	31	0,7
Mínimo	0,033	0,014	0,026	58	19	0,7
	0,046	0,019	0,032	59	30	0,9
	0,043	0,016	0,036	63	16	1,0
Máximo	0,134	0,055	0,096	63	52	$\text{O}_3 = 1,1$
Mínimo	0,033	0,014	0,025	36	13	mg/L

FIGURA 5.137 Valores de absorvância-C/Co para efluente da pré-oxidação (JC) e efluente das unidades de filtração lenta (FLA e FLA-CAG) e da relação H_2O_2/O_3 - Carreira 6

5.7.2 Carbono Orgânico Dissolvido Não-Purgável – CODNP

Na pré-filtração, a redução no conteúdo de carbono orgânico dissolvido foi inferior a 63 por cento. Na filtração lenta, para os dois filtros lentos, 64 por cento dos valores foram superiores ao afluente ozonizado. A ozonização contribuiu para aumento no conteúdo de matéria orgânica avaliado como carbono orgânico dissolvido (Tabela 5.155 e C6. 2F do Anexo F). Os valores medidos para o parâmetro carbono orgânico dissolvido não-purgável, no decorrer da carreira de filtração estão representados na Figura 5.138.

TABELA 5.101 Valores de Carbono Orgânico Dissolvido Não-Purgável (mg/L) para efluente da pré-oxidação (JC) e dos filtros lentos de areia e carvão ativado granular e de Eficiência (%) - Carreira 6

	Jusante coluna	Filtro lento areia-cag	Filtro lento areia	Eficiência (%)			H2O2/O3
				Pré- oxidação	F.lento areia-cag	F.lento areia	
Máximo	0,000	0,865	1,208	0	53	21	—
Mínimo	0,000	0,486	0,827	0	11	0	—
Máximo	0,758	0,618	0,761	79	50	24	0,3
Mínimo	0,071	0,132	0,333	15	0	0	0,1
Máximo	0,488	0,434	1,437	100	99	100	0,7
Mínimo	nd	0,006	0,323	0	0	0	0,5
	nd	0,271	0,479	100	0	0	1,0
	0,430	nd	0,124	0	100	71	0,9
Máximo	0,684	1,069	0,858	100	100	48	O3 = 1,0
Mínimo	nd	nd	0,355	0	0	0	mg/L

FIGURA 5.138 Valores de Carbono Orgânico Dissolvido Não-Purgável - C/Co para efluente da pré-oxidação (JC) e das unidades de filtração lenta (FLA e FLA-CAG) - Carreira 6

5.7.3 Cor Verdadeira

Nas unidades de pré-tratamento, o parâmetro cor verdadeira apresentou eficiência que variou entre 4 e 51 por cento, para valores nominais na água bruta que variaram de 11 a 58 uH. Os valores de cor verdadeira apresentados pela água bruta estão acima dos recomendados para aplicação da FiME, ou seja, 100 por cento dos valores menores que 25 uH (PROSAB, 1999). Para a relação H_2O_2/O_3 entre 0,1 e 0,2, o FLA apresentou no efluente valores menores para cor verdadeira e maiores valores para eficiência. O mesmo comportamento foi observado para o parâmetro CODNP: para menor valor de eficiência na pré-oxidação, ocorreu maior eficiência para os filtros lentos. (Tabela 5.102 e Tabela C8.3.G do Anexo G). Após 37º dia, o filtro lento de areia apresentou C/Co em torno de 0,75 e o filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular apresentou efluente com melhores características e o valor de C/Co ficou em torno de 0,5, comportamento semelhante ao ocorrido para absorvância. Este comportamento se deu devido ao fato de ter ocorrido variação na camada biológica do filtro lento de areia observado pela variação na declividade da curva da perda de carga nos filtros após adição de peróxido de hidrogênio (Figura 5.146). No filtro lento de areia foi observado maior alteração no desenvolvimento da perda de carga influenciada pela adição de peróxido de hidrogênio, mas se compararmos os resultados do efluente do filtro lento de areia com os demais resultados obtidos nas carreiras anteriores pode-se notar que este efeito não resultou em piora acentuada na qualidade do efluente, principalmente com relação a qualidade bacteriológica. O valor C/Co superior a 1,0 para os filtros lentos foi devido à diferença de tempo existente entre o tempo de coleta entre o afluente e filtros lentos. A pré-oxidação com ozônio e peróxido de hidrogênio proporcionou efluente dos filtros lentos com melhor qualidade (valores entre 6 e 19 uH).

TABELA 5.102 Valores de Cor Verdadeira (uH) para efluente da pré-oxidação (JC) e dos filtros lentos de areia e carvão ativado granular - Carreira 6

	Jusante coluna	Filtro areia cag	Filtro lento areia	H_2O_2/O_3
Máximo	27	15	18	—
Mínimo	14	13	13	—
Máximo	24	17	18	0,3
Mínimo	11	8	4	0,1
Máximo	36	13	25	0,7
Mínimo	13	8	10	0,5
Máximo	21	11	16	1,1
Mínimo	11	7	9	0,9
Máximo	23	13	19	$O_3 = 1,1$
Mínimo	14	7	6	$O_3 = 1,0$

FIGURA 5.139 Valores de Cor Verdadeira - C/Co para efluente da pré-oxidação (JC), para efluentes das unidades de filtração lenta (FLA e FLA-CAG) e para relação H_2O_2/O_3 - Carreira 6

5.7.4 Cor Aparente

No processo de Filtração em Múltiplas Etapas, utilizando-se ou não a pré-oxidação, não houve redução da cor aparente a valores que se enquadrem dentro do padrão de potabilidade de valor máximo permitido de 15 uH, para valores da água bruta variando de 88 a 107 uH (Tabelas 5.157e C9.4g do Anexo G). Na Figura 5.140, pode-se visualizar os valores medidos para a cor aparente para efluente da pré-filtração (PFVA), para o da pré-oxidação (JC) e para o efluente das unidades de filtração lenta (FLA e FLA-CAG). Após 37º dia, o filtro lento de areia apresentou C/Co em torno de 0,75 e o filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular apresentou efluente com melhores características e o valor de C/Co ficou em torno de 0,5, assemelhando-se ao comportamento para absorvância e cor verdadeira. A pré-oxidação, associando ozônio e peróxido de hidrogênio, também proporcionou efluente com melhor qualidade com relação à cor aparente, mas os valores não se enquadraram dentro do padrão de potabilidade.

FIGURA 5.140 Valores de Cor Aparente - C/Co para efluente da pré-oxidação (JC), para efluentes das unidades de filtração lenta (FLA e FLA-CAG) - Carreira 6

TABELA 5.103 Valores máximos e mínimos de Cor Aparente (uH) para efluente da pré-oxidação (JC) e dos filtros lentos de areia e carvão ativado granular e de Eficiência (%) - Carreira 6

	Montante coluna	Jusante coluna	Filtro lento areia-cag	Filtro lento areia	Eficiência (%)		H2O2/O3
					Flento areia-cag	Flento areia	
Máximo	61	61	29	30	59	53	
Mínimo	53	53	21	24	52	47	
Máximo	63	54	31	31	62	63	0,3
Mínimo	43	37	14	15	42	38	0,1
Máximo	92	81	30	51	67	47	0,7
Mínimo	43	37	16	20	45	19	0,5
Máximo	49	43	20	27	64	42	1,1
Mínimo	48	42	15	25	53	36	1,0
Máximo	82	69	26	47	65	57	O3 = 1,0
Mínimo	45	37	16	16	51	20	mg/l

5.7.5 Oxigênio Consumido

Para o parâmetro oxigênio consumido foi observada tendência de valor maior e eficiência menor na oxidação resultar em valor menor e eficiência maior no efluente dos filtros lentos. Comportamento semelhante foi observado nos parâmetros cor verdadeira, absorvância e COT, nesta carreira. A remoção de matéria orgânica nas unidades de filtração lenta, quando se utilizou a pré-oxidação com ozônio e peróxido de hidrogênio, foi bastante próxima para relação H_2O_2/O_3 entre 0,3 e 0,5. Para relação igual a 0,1, o FLA apresentou menor valor e redução maior que o FLA-CAG. O filtro lento com camada intermediária de carvão ativado granular apresentou maior redução (Tabelas 5.104 e C6.5.F do Anexo F). A remoção de absorvância também apresentou maiores valores de redução para relação de H_2O_2/O_3 entre 0,7 e 1,0. Os valores nominais medidos durante a carreira estão representados na Figura 5.141

TABELA 5.104 Valores de Oxigênio Consumido (mg/L) para efluente da pré-oxidação (JC) e dos filtros lentos de areia e carvão ativado granular e de Eficiência (%) - Carreira 6

Tempo operação (d)	Jusante coluna	Filtro lento areia-cag	Filtro lento areia	Eficiência (%)		H2O2/O3
				Flento areia-cag	Flento areia	
14		0,50	0,75	60	40	
25	0,80	0,55	0,40	31	50	0,1
32	0,80	0,40	0,40	50	50	0,3
53	0,95	0,40	0,40	58	58	0,5
Máximo	0,95	0,55	0,40	58	58	0,5
Mínimo	0,80	0,40	0,40	31	50	0,1
18	1,85	0,25	0,50	86	73	O3 = 1,0
62	1,05	0,20	0,55	81	48	O3 = 1,1

FIGURA 5.141 Valores de Orogênio Consumido - C/Co para efluente da pré-oxidação (JC), para efluentes das unidades de filtração lenta (FLA e FLA-CAG) Carreira 6

5.7.6 Bactérias Heterotróficas

Durante o processo de pré-tratamento, ocorreu remoção de 78 a 92 por cento de microrganismos avaliados como Bactérias Heterotróficas. O efluente dos filtros lentos apresentou valores maiores que o afluente ozonizado, após a oxidação, independente da relação H_2O_2/O_3 . Na Figura 5.8.6 estão apresentados os valores medidos para o efluente da pré-filtração (PFVA), da pré-ozonização (jusante da coluna, JC), dos filtros lentos (FLA, FLA-CAG). Os valores medidos durante toda a carreira de filtração estão apresentados na Tabela C.6.6F do anexo F, e os resultados dos valores e reduções, máximos e mínimos, encontram-se na Tabela 5.105. O filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular sem a pré-oxidação apresenta número de bactérias heterotróficas superior ao filtro lento de areia. Com a pré-oxidação para relação H_2O_2/O_3 entre 0,3 e 0,5, o filtro lento de areia apresenta maior número de bactérias.

TABELA 5.105 Valores de Bactérias Heterotróficas (UFC/100mL) para efluente da pré-oxidação (JC) e dos filtros lentos de areia e carvão ativado granular - Carreira 6

Tempo de operação (d)	Montante: Jusante coluna	Jusante coluna	Filtro areia cag	Filtro lento areia	Relação H_2O_2/O_3
14	—	—	56	28	—
25	62	10	51	28	0,1
32	62	4	10	19	0,3
39	47	8	16	41	0,5
53	56	12	19	31	0,5
46	34	13	21	18	1,0
18	51	10	44	15	$O_3 + 1,0$

FIGURA 5.142 Valores de Bactérias Heterotróficas - C/Co para efluente da pré-oxidação (JC), para efluentes das unidades de filtração lenta (FLA e FLA-CAG) e para relação H_2O_2/O_3 - Carreira 6

5.7.7 Coliformes Totais

Os valores, na água bruta, para coliformes totais se enquadram dentro dos limites sugeridos por PROAB, (1999) com 95 por cento das amostras com valores inferiores a 5000 NMP/100mL, para aplicação de tecnologia de filtração em múltiplas etapas, com pré-tratamento e para tratamento de água sem coagulação química, respectivamente. No pré-tratamento, os valores para coliformes totais foram reduzidos de 85 a 94 por cento. Na pré-oxidação, para a dose de ozônio aplicada igual a 1,0 mg/L e para relação de H_2O_2/O_3 entre 0,1 e 0,7, o efluente da coluna de ozonização apresentou valores nulos para coliformes totais. Os efluentes dos filtros lentos apresentaram 100 por cento dos valores inferiores a 2 NMP/100mL, para valores de turbidez variando entre 3 e 7 uT. (Tabela C6.7F do Anexo F).

5.7.8 *Escherichia coli*

Os valores de *Escherichia coli* apresentados pela água bruta enquadram-se dentro dos recomendados para aplicação da tecnologia de filtração em múltiplas etapas com pré-tratamento, com 100 por cento dos valores inferiores a 10000 NMP/100 mL. Para valores do afluente (água bruta) variando de 145 a 281 NMP/100mL, os filtros lentos apresentaram 100% dos valores medidos nulos, para turbidez no efluente dos filtros variando de 2,8 a 5,0, no 18º dia de operação utilizando-se a pré-oxidação. Na pré-oxidação os microrganismos medidos como *Escherichia coli* são reduzidos a valores nulos, não havendo aparecimento destes nos filtros lentos para dose de ozônio aplicada de 0,8 mg/L e relação de H_2O_2/O_3 variando de 0,1 a 0,8. Os valores para *Escherichia coli* (NMP/100mL) apresentados pela água bruta, pelos efluentes das unidades de pré-filtração, pré-oxidação e filtração lenta são apresentados na Tabela C.6.8F no Anexo F.

5.7.9 Nitrogênio Amoniacal e Nitrato

No pré-tratamento, o conteúdo de nitrogênio amoniacal foi reduzido entre 29 e 61 por cento. Pode-se observar, pela Figura 5.143 que o conteúdo de nitrogênio amoniacal aumentou no efluente do filtro lento de areia, com o aumento da relação H_2O_2/O_3 e ao longo da carreira. O aumento do conteúdo remanescente pode ter sido pela interferência causada pela queda na. O filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular apresentou faixa de valor de redução maior que o apresentado pelo FLA, havendo redução no conteúdo ao longo da carreira (Tabela C6.9F do Anexo F). Os valores de nitrato apresentados pela água bruta e efluente das unidades filtrantes estão abaixo do preconizado para o padrão de potabilidade. O pré-tratamento e a pré-oxidação tiveram eficiência em cada etapa de 10 por cento do conteúdo de matéria orgânica avaliada como nitrato. Ocorreu redução no conteúdo de nitrato no efluente dos filtros lentos. FLA-CAG apresentou redução no conteúdo de nitrato superior ao FLA. Os valores medidos estão representados nas Figuras 5.143, para nitrogênio amoniacal, e Figura 5.144 para nitrato.

FIGURA 5.143 Valores de Nitrogênio Amoniacal (C/Co) para efluente da pré-oxidação (JC), para efluentes das unidades de filtração lenta (FLA e FLA-CAG) e para relação H₂O₂/O₃ - Carreira 6

FIGURA 5.144 Valores de Nitrato - C/Co para efluente da pré-oxidação (JC), para efluentes das unidades de filtração lenta (FLA e FLA-CAG) e para relação H₂O₂/O₃ - Carreira 6

5.7.10 Turbidez

Os valores medidos para turbidez da água bruta durante a carreira ficaram entre os valores de 12,0 a 20,9 UT e foram inferiores aos propostos para aplicação da tecnologia FiME, ou seja, 100 por cento dos valores medidos inferiores a 200 UT. No pré-tratamento, o material particulado medido como turbidez foi removido de 43 a 63 por cento, no filtro lento de areia, 79 por cento dos valores foram inferiores a 5,0 UT e, no filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular 98 por cento dos valores foram inferiores a 5 uT (Tabela C9.13F do Anexo F). Pela Figura 5.145 pode-se observar o efeito na turbidez remanescente do filtro lento causado pela alteração no comportamento da perda de carga após a adição de peróxido de hidrogênio. Apesar deste fato, a qualidade bacteriológica dos filtros não foi afetada com valores nulos no efluente dos filtros para *Escherichia coli*.

FIGURA 5.145 Valores de Turbidez - C/Co para efluente da pré-oxidação (JC), para efluentes das unidades de filtração lenta (FLA e FLA-CAG) e para relação H₂O₂/O₃ - Carreira 6

5.7.11 Sólidos Suspensos Totais e Condutividade Elétrica

O conteúdo de sólidos decresceu ao longo do processo de tratamento, apesar de um ligeiro acréscimo no efluente da pré-oxidação, sendo que a carga de sólidos retida no pré-tratamento foi de 66 a 92 por cento, para variação de sólidos suspensos totais na água bruta de 1,6 a 5,7 mg/L (Tabela C6.14F do Anexo F). Os valores medidos para condutividade foram muito pequenos e o efluente do filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular apresentou redução maior que o filtro lento de areia. Os valores medidos durante a carreira de filtração estão apresentados na Tabela C6.15F do Anexo F.

5.7.12 Alcalinidade, pH, Temperatura e Oxigênio Dissolvido

Os valores para alcalinidade e pH decresceram ao longo do processo de tratamento, sendo que o filtro lento com camada intermediária de carvão ativado granular apresentou faixa de valores menores que o efluente do filtro lento de areia; o efluente da coluna de ozonização e o efluente do pré-filtro vertical ascendente, quando não ocorreu ozonização. Os valores medidos para alcalinidade encontram-se na Tabela C6.F do Anexo F e, para pH, encontram-se na Tabela C6. F do Anexo F.

A variação máxima e mínima da temperatura medida para a água bruta, ao longo da carreira de filtração, foi de 16,5 a 26 °C. A variação da temperatura medida ao longo da carreira de filtração para água bruta, unidades de pré-oxidação e unidades filtrantes estão apresentadas na Tabela C6.F no Anexo F.

Os valores medidos para oxigênio dissolvido durante a carreira de filtração estão apresentados na Tabela C6. F do Anexo F.

5.7.13 Perda de Carga

Na Figura 5.146, pode-se observar o desenvolvimento da perda de carga no filtro lento de areia e no filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular. A carreira de filtração foi encerrada, após 62 dias de operação, sem que a carga hidráulica disponível fosse atingida. A aplicação de ozônio, associado ao peróxido de hidrogênio, alterou o comportamento

no desenvolvimento da perda de carga nos filtros lentos. No filtro lento de areia, após 10 dias de aplicação de peróxido de hidrogênio, com relação H_2O_2/O_3 igual a 0,1 e dois dias utilizando-se a relação de 0,2, a perda de carga no filtro começou a decrescer, após atingir valor máximo de 62,2 cm no 31º dia e chegou a 5,0 cm no encerramento da carreira. Apesar desta condição, as características do efluente do filtro lento não se alteraram de forma que a qualidade bacteriológica, avaliada como coliformes totais e *Escherichia coli* do efluente, ficasse comprometida. No filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular, esta condição foi observada após 22 dias de aplicação de ozônio e peróxido de hidrogênio (54º dia de operação da carreira), sendo que o decréscimo na perda de carga foi bem menor, de 52,6 para 48,0 cm, no encerramento da carreira. Os valores diários podem ser observados na Tabela C6. 21F do Anexo F.

FIGURA 5.146 Valores Perda de Carga (cm) e de Taxa de Aplicação Superficial para as unidades de filtração lenta - Carreira 6

5.7.14 Atrazina

No 14º e 19º dia de operação, foram feitas medidas para a atrazina sem a pré-oxidação, para avaliar a capacidade da camada de carvão ativado granular na redução do conteúdo de atrazina. Pode-se observar que, para concentração de atrazina no afluente entre 30 e 33 µg/L, o efluente do filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular apresentou concentração para atrazina inferior a 2 µg/L, após 424 dias de operação contínua do sistema, com volume de água tratado de 758,7 m³ e taxa de 5058 m³ água tratada/m³ cag. Na pré-oxidação, para as condições operacionais utilizadas, relação H_2O_2/O_3 no intervalo de 0,0 a 1,0, os valores de atrazina no efluente ozonizado foram reduzidos entre 79 e 93 por cento e os valores nominais ficaram entre 2,4 a 12,8 µg/L, não atendendo ao padrão de potabilidade. Os valores de atrazina para o afluente variaram de 25,9 a 75,9 µg/L. Para o filtro de areia, a eficiência de redução foi inferior a 57 por cento e os valores estiveram 1,47 e 56,38 µg/L, mas o efluente só apresentou valores inferiores a 2,0 µg/L, quando o afluente ozonizado foi inferior a 2,642 µg/L. Para a condição de pré-oxidação com ozônio, o FLA apresentou concentração no efluente inferior a 2,0 µg/L quando a concentração no afluente ozonizado foi inferior a 7,4 µg/L, para dose de ozônio consumida, entre 1,6 e 3,7 mg/L. A concentração no afluente à coluna de ozonização variou entre 39,46 e 110,252 µg/L.

O efluente do filtro de areia com camada intermediária de carvão ativado granular, FLA-CAG, apresentou valores inferiores a 0,1 µg/L, quando a relação H_2O_2/O_3 foi superior a 0,5 para valores no afluente entre 22,9 e 68,4 µg/L e não foi detectado atrazina no efluente para relação de H_2O_2/O_3 foi superior a 0,6. A concentração no efluente depende das condições de oxidação e da concentração no afluente. O padrão de potabilidade brasileiro admite 2,0 µg/L como valor máximo permissível para a atrazina e o padrão europeu admite 0,1 µg/L. Após a última coleta de atrazina, no 61º dia, utilizando-se a pré-oxidação, o sistema de ozonização e peróxido de hidrogênio foi desligado, deixando o sistema que adicionava atrazina ligado para avaliar a capacidade do carvão ativado granular na remoção de atrazina sem oxidação. No 64º dia de operação, foi realizada coleta para avaliar a capacidade da camada de carvão ativado granular na remoção de atrazina, após 486 dias de operação com volume de água tratado igual a 869,2 m³ e taxa de 5793 m³ de água tratada/m³CAG. A concentração de atrazina afluente ao sistema foi de 74,93 µg/L e não foi detectado atrazina no efluente do filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular. A alta eficiência deve ter ocorrido pelo equilíbrio biológico e químico entre a superfície do carvão ativado granular e o afluente ao sistema após o leito ter recebido afluente ozonizado. Esta condição só ocorreu após utilização de oxidação com ozônio e peróxido de hidrogênio que apresentou valores não detectados da atrazina no efluente.

Após a coleta de atrazina para condição sem pré-oxidação, no 64º dia de operação, a adição de atrazina foi interrompida e 24 horas após foi feita coleta para avaliar a dessorção nos filtros lentos. O filtro lento de areia apresentou concentração de 0,448 µg/L e o efluente do filtro lento com camada intermediária de carvão ativado granular apresentou concentração de 0,066 µg/L. Para reduzir a atrazina a valores inferiores a 0,1 µg/L, é necessário a utilização de pré-oxidação seguida de filtração lenta com camada de carvão ativado. Este processo é chamado de filtração biológica e tem sido, atualmente muito empregado para redução de contaminantes para atendimentos a novos padrões de potabilidade no que tange à remoção de orgânicos.

FIGURA 5.147 Valores Atrazina (µg/L) para o efluente da pré-oxidação (JC), do filtro lento de areia (FLA) e do filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG) – Carreira 6

TABELA 5.106 Valores de Atrazina ($\mu\text{g/L}$) para efluente da pré-oxidação (JC) e dos filtros lentos de areia e carvão ativado granular e de Eficiência (%) - Carreira 6

Tempo operação (d)	Montante coluna	Jusante coluna	Filtro lento areia	Filtro lento areia-cag	Eficiência (%)			$\text{H}_2\text{O}_2/\text{O}_3$
					Pré- oxid.	Filtro areia	Filtro areia-cag	
14	30,040	30,040	30,410	0,672	0	0	98	—
19	33,440	4,798	36,245	nd	86	0	100	$\text{O}_3 = 1,0 \text{ mg/l}$
20	38,610	6,610	2,990	0,198	83	55	97	0,1
25	49,580	10,190	4,370	nd	79	57	100	0,1
27	31,600	2,950	2,960	0,015	91	0	100	0,1
Máximo	49,580	10,190	4,370	0,198	91	57	100	0,1
Mínimo	31,600	2,950	2,960	nd	79	0	nd	0,1
30	38,400	5,224	2,736	0,062	86	48	99	0,2
34	55,160	7,300	6,610	0,334	87	9	95	0,2
37	49,400	7,070	7,050	0,121	86	0	98	0,2
Máximo	55,160	7,300	7,050	0,334	87	48	99	0,2
Mínimo	38,400	5,224	2,736	0,062	86	0	95	0,2
39	56,130	7,900	4,990	0,079	86	37	99	0,5
54	34,350	4,830	4,900	nd	86	0	100	0,5
61	55,930	9,220	8,200	nd	84	11	100	0,6
59	68,460	12,790	10,330	nd	81	19	100	0,7
41	34,580	5,880	2,400	nd	83	59	100	0,7
Máximo	68,460	12,790	10,330	0,079	85,9	59	100	0,7
Mínimo	34,350	4,830	2,400	nd	81,3	0	99	0,5
48	31,520	2,360	1,820	nd	93	23	100	0,9
47	25,940	2,420	1,770	nd	91	27	100	1,0
45	29,310	2,390	1,467	nd	92	39	100	1,1
Máximo	31,520	2,420	1,820	nd	93	39	100	1,1
Mínimo	25,940	2,360	1,467	nd	91	23	100	0,9
64	74,930	—	66,720	nd	—	11	100	—
65	0,000	0,000	0,134	0,159	—	—	—	—

5.7.15 Subprodutos

5.7.15.1 Atrazina desetil

No filtro lento de areia, para a maioria dos valores medidos para o atrazina desetil, houve aumento da concentração no efluente indicando oxidação biológica da atrazina sem a utilização da pré-oxidação. Nas condições de utilização da pré-oxidação, ocorreu o aumento do conteúdo de atrazina desetil no efluente, entre os dias 37° e 48°, para relação de $\text{H}_2\text{O}_2/\text{O}_3$ entre 0,2 e 0,9. Quando a pré-oxidação foi utilizada no filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular, ocorreu sempre a redução no conteúdo de atrazina desetil, contribuindo para a qualidade do efluente com relação à potabilidade. Na Tabela 5.162 e na Figura 5.148 estão representados os valores medidos.

TABELA 5.107 Valores atrazina desetil ($\mu\text{g/L}$) para efluente da pré-oxidação (JC) e dos filtros lentos de areia e carvão ativado granular e de Eficiência (%) - Carreira 6

Tempo operação (d)	$\text{H}_2\text{O}_2/\text{O}_3$	Jusante coluna	Filtro areia	Filtro areia-cag	Eficiência(%)	
					F. areia	F. areia-cag
14	0,0	0,028	nd	0,035	100,0	0,0
20	0,1	4,950	3,987	0,002	19,5	100,0
25	0,1	9,167	9,006	nd	1,8	100,0
30	0,2	7,503	5,877	0,016	21,7	99,8
34	0,2	7,624	7,083	nd	7,1	100,0
37	0,2	5,914	7,224	nd	0,0	100,0
39	0,5	1,005	1,538	0,003	0,0	99,7
54	0,5	3,570	6,430	0,001	0,0	100,0
61	0,6	3,202	4,064	0,002	0,0	99,9
41	0,7	4,480	2,718	0,019	0,0	99,6
59	0,7	2,893	6,586	nd	0,0	100,0
48	0,9	2,789	3,077	0,016	0,0	99,4
47	1,0	2,885	2,229	nd	22,7	100,0
45	1,1	3,888	3,713	nd	4,5	100,0
64	0,0	—	0,043	0,029	—	—

FIGURA 5.148 Valores atrazina desetil ($\mu\text{g/L}$) para o efluente da pré-oxidação (JC), do filtro lento de areia (FLA) e do filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG) – Carreira 6

5.7.15.2 atrazina desisopropil

Para o filtro lento de areia, ocorreu formação de atrazina desisopropil, indicando a oxidação biológica da atrazina em 70 por cento dos valores medidos. Para o filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular para a condição sem pré-oxidação, ocorreu formação de atrazina desisopropil e para a condição de pré-oxidação, houve redução bastante significativa na concentração de atrazina desisopropil (Tabela 5.108). Na Figura 5.149, estão apresentado os valores medidos para o atrazina desisopropil

5.7.15.3 Atrazina desetil-2-hidroxi

Para o filtro lento de areia a concentração no efluente oscilou entre a formação 71 por cento dos valores medidos na redução do conteúdo de atrazina desetil-2-hidroxi e a redução. Para o filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular em 79 por cento dos

valores medidos ocorreu redução no conteúdo de atrazina desetil-2-hidroxi contribuindo para a qualidade final do efluente filtrado (Tabela 5. 109).

TABELA 5.108 Valores atrazina desisopropil ($\mu\text{g/L}$) para efluente da pré-oxidação (JC) e dos filtros lentos de areia e carvão ativado granular e de Eficiência (%) - Carreira 6

Tempo operação (d)	$\text{H}_2\text{O}_2/\text{O}_3$	Jusante coluna	Filtro areia	Filtro areia-cag	Eficiência (%)	
					F. areia	F. areia-cag
14	0,0	0,005	0,045	0,088	0,0	<0
20	0,1	0,194	0,622	nd	0,0	100,0
25	0,1	nd	0,959	nd	0,0	100,0
30	0,2	0,207	0,494	0,017	0,0	91,6
34	0,2	0,025	0,821	nd	0,0	100,0
37	0,2	0,059	0,765	nd	0,0	100,0
39	0,5	0,328	0,188	0,002	42,7	99,5
54	0,5	0,478	0,922	nd	0,0	100,0
61	0,6	0,639	0,432	nd	32,4	100,0
41	0,7	0,363	0,513	nd	0,0	100,0
59	0,7	1,242	1,100	nd	11,4	100,0
48	0,9	0,298	0,176	nd	40,9	100,0
47	1,0	0,278	0,300	nd	0,0	100,0
45	1,1	0,310	0,369	0,015	0,0	95,1
64	0,0	—	—	0,007	—	—

FIGURA 5.149 Valores atrazina desisopropil ($\mu\text{g/L}$) para o efluente da pré-oxidação (JC), do filtro lento de areia (FLA) e do filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG) – Carreira 6

FIGURA 5.150 Valores atrazina desetil-2-hidroxi ($\mu\text{g/L}$) para efluente da pré-oxidação (JC), do filtro lento de areia (FLA) e do filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular (FLA-CAG) – Carreira 6

TABELA 5.109 Valores atrazina desetil-2-hidroxi ($\mu\text{g/L}$) para efluente da pré-oxidação (JC) e dos filtros lentos de areia e carvão ativado granular e de Eficiência (%) - Carreira 6

Tempo operação (d)	$\text{H}_2\text{O}_2/\text{O}_3$	Jusante coluna	Filtro areia	Filtro areia-cag	Eficiência(%)	
					F. areia	F. areia-cag
14	0,0	0,562	0,270	0,001	52,0	99,8
20	0,1	0,203	0,176	nd	13,3	100,0
25	0,1	0,049	0,318	0,001	0,0	97,2
30	0,2	0,082	0,603	nd	0,0	100,0
34	0,2	0,047	0,519	0,003	0,0	94,0
37	0,2	0,512	0,683	nd	0,0	100,0
39	0,5	0,015	0,718	0,002	0,0	87,0
54	0,5	0,004	0,372	0,005	0,0	0,0
61	0,6	0,005	0,341	0,090	0,0	0,0
41	0,7	nd	0,167	0,093	0,0	0,0
59	0,7	0,287	0,654	nd	0,0	100,0
48	0,9	0,010	0,008	nd	16,9	100,0
47	1,0	0,673	0,709	0,011	0,0	98,4
45	1,1	0,456	0,303	0,038	33,6	91,6
64	0,0	—	0,003	0,004	—	—

Se considerar a remoção de atrazina somada aos subprodutos, o efluente do filtro lento com camada intermediária de carvão ativado granular apresentou efluente com concentração inferior a $0,5 \mu\text{g/L}$ enquadrando-se dentro dos padrões de potabilidade europeus para concentração no afluente entre 32,647 e $68,99 \mu\text{g/L}$ quando se utilizou ozônio associado ao peróxido de hidrogênio (Tabela 5.7.15). Na pré-oxidação com ozônio somente esta condição foi atingida quando a dose de ozônio consumida foi entre 1,7 e $3,7 \text{ mg/L}$, para concentração no afluente entre 1,286 e $109,52 \mu\text{g/L}$.

TABELA 5.110 Valores para somatória de atrazina e subprodutos ($\mu\text{g/L}$) para efluente da pré-oxidação (JC) e dos filtros lentos de areia e carvão ativado granular e de Eficiência (%) - Carreira 6

Tempo operação (d)	Montante coluna	Jusante coluna	Filtro areia	Filtro areia-cag	H ₂ O ₂ /O ₃
14	30,076	—	30,282	0,252	0,0
19	33,350	11,734	9,262	0,013	0,0
20	38,354	11,857	7,719	0,045	0,1
25	51,573	20,196	15,073	0,015	0,1
30	37,462	12,981	9,711	0,128	0,2
34	54,880	14,813	14,923	0,402	0,2
37	49,200	13,615	15,052	0,122	0,2
39	55,750	9,248	7,814	0,060	0,5
41	34,798	10,799	6,048	0,197	0,7
45	29,600	7,296	5,995	0,107	1,1
47	26,885	6,452	5,108	0,034	1,0
48	32,647	5,664	5,199	0,033	0,9
54	35,533	9,275	12,870	0,050	0,5
59	68,990	16,832	18,629	0,047	0,7
61	56,827	12,568	12,422	0,160	0,6
64	66,494	—	76,116	0,057	0,0
65	—	—	0,448	0,066	0,0

5.7.16 Considerações finais

A atrazina nas concentrações adicionadas não afetou o sistema de filtração lenta, ou seja, não apresentou toxicidade para os microrganismos, pois não foi detectado piora na qualidade do efluente, após adição de atrazina.

O peróxido de hidrogênio alterou o comportamento da perda de carga nos filtros lentos, sendo o efeito mais pronunciado sentido no filtro lento de areia. Ocorreu queda na perda de carga possivelmente pela alteração da comunidade biológica. Esta condição de mudança no desenvolvimento da perda de carga implicou em aumento da relação C/Co, nos parâmetros medidos como cor verdadeira, cor aparente, absorvância e turbidez. Apesar desta alteração, as condições de oxidação com ozônio e peróxido proporcionaram efluente com características melhores que a condição com ozônio somente para cor verdadeira, cor aparente e absorvância.

Para o filtro lento de areia, a alteração no comportamento observado através da alteração na curva de perda de carga não eliminou os microrganismos, pois apareceram valores para bactérias heterotróficas no efluente.

Para reduzir o conteúdo de atrazina a valores inferiores a $0,1 \mu\text{g/L}$, é necessário a utilização de pré-oxidação seguida de filtração lenta com camada de carvão ativado. Este processo é chamado de filtração biológica e tem sido atualmente muito empregado para redução contaminantes para atendimentos a novos padrões de potabilidade no que tange à remoção de contaminantes orgânicos. Este resultado concorda com as conclusões apresentadas por FOSTER et al. (1991) e por ADAMS & RANDTKE (1992).

A condição de oxidação com ozônio e peróxido de hidrogênio proporcionou melhora na qualidade do efluente do filtro com camada de carvão ativado granular para atrazina e somatória de atrazina e subprodutos. Com a condição de pré-oxidação com ozônio e peróxido de hidrogênio e filtro lento com camada intermediária de carvão ativado granular é possível que o efluente enquadre-se dentro de padrões de potabilidade mais restritivos (para o padrão europeu a concentração máxima de atrazina é de 0,1 µg/L e a somatória de pesticidas e subprodutos tem que ser inferior a 0,5 µg/L).

Após 486 dias de operação contínua do sistema com volume de água tratado igual a 869,2 m³, e taxa de 5795 m³ de água tratada/m³ cag, o filtro lento de com camada intermediária de carvão ativado granular ainda apresentou capacidade na redução de atrazina para valores inferiores a 2,0 µg/L com concentração no afluente de 74,93 µg/L.

Na Figura 5.151 pode-se visualizar fotografias em microscopia eletrônica da superfície de grãos de carvão ativado sem uso e de grão de carvão ativado granular retirado do FLA-CAG após 486 dias de uso. Nas fotos é possível perceber a diferença que existe na superfície do carvão ativado utilizado no filtro lento.

FIGURA 5.151 Foto em microscopia de varredura, com ampliação de 2000X, de grãos da superfície do carvão ativado sem uso (a) e de carvão ativado após 486 dias de uso (b)

No dia 04/09/2001 foram coletadas amostras dos mananciais superficiais e na saída do tratamento de água da cidade de São Carlos para verificar a presença de atrazina. No Córrego Feijão foi detectado atrazina na concentração de 0,31 µg/L e no Espreado foi detectado concentração de 4,54 µg/L. Apesar de uma só coleta e considerando os resultados apresentados por UETA et al. (2001) que detectou presença de atrazina no solo da região de Ribeirão Preto verifica-se a necessidade urgente de monitoramento nos afluentes à Estação de Tratamento da cidade de São Carlos. O valor detectado na saída da Estação de Tratamento da Cidade de São Carlos foi igual a 2,04 µg/L e enquadra-se dentro do padrão de potabilidade brasileiro.

6 CONCLUSÕES

Para as condições operacionais em que o trabalho foi desenvolvido pode-se concluir que:

A pré-filtração apresentou eficiência para conteúdo de SST entre 49 e 63 por cento e para turbidez entre 20 e 81 por cento. No conteúdo orgânico a eficiência ficou entre 24 e 75 por cento para oxigênio consumido e entre 11 e 68 por cento para cor. Ocorreu diminuição na concentração de nitrogênio amoniacal e aumento na concentração de nitrato indicando a ocorrência de nitrificação. A eficiência para coliformes variou entre 65,5 e 99,0 por cento.

O filtro lento de areia com camada intermediária de carvão ativado granular apresentou efluente com menores valores para os parâmetros avaliados como: absorvância; carbono orgânico dissolvido não purgável, nitrogênio amoniacal, nitrato, coliformes totais e atrazina;

Os filtros lentos apresentaram em seus efluentes concentração de *Escherichia coli* inferior a 5NMP/100 mL para turbidez entre 0,8 e 8,8 UT para concentração de *Escherichia coli* no afluente entre 98 e 600 NMP/100 mL. Apesar dos valores para turbidez no efluente dos filtros lentos serem superiores ao recomendado pela Portaria N° 1469, não existe comprometimento bacteriológico do efluente dos filtros lentos considerando-se a cloração como etapa final da desinfecção;

O filtro lento com camada intermediária de carvão ativado granular apresentou efluente com concentração de atrazina inferior a 2,0 µg/L para valores no afluente inferiores a 200 µg/L a partir do 82 ° dia de operação. A capacidade do filtro lento com camada intermediária de carvão ativado granular na redução de atrazina não foi diminuída após 486 dias de operação com volume de água tratado de 869,2 m³ e taxa de 5795 m³água tratada/m³CAG;

Os subprodutos atrazina desetil, atrazina desisopropil e atrazina desetil-2-hidroxi apareceram no afluente e como subprodutos da oxidação biológica e da oxidação química da atrazina nos filtros lentos nesta ordem;

A oxidação com ozônio e com ozônio associado ao peróxido de hidrogênio diminuiu a concentração de microrganismos avaliados como Coliformes Totais, Bactérias Heterotróficas e

Escherichia coli a valores inferiores a 5 NMP/100 mL. A diminuição no conteúdo de matéria orgânica foi moderada ficando a eficiência entre 5 e 40 por cento.

Para dose de ozônio consumida entre 2,2 e 3,7 mg/L, o efluente ozonizado apresentou valores inferiores a 2,0 µg/L para atrazina para concentração no afluente 39,5 a 110,3 µg/L. Para utilização de ozônio e peróxido de hidrogênio, o efluente ozonizado apresentou concentração para atrazina superior a 2,0 µg/L para concentração no afluente entre 25,9 e 68,5 µg/L;

O filtro lento de areia apresentou concentração de atrazina no efluente inferior a 2,0 µg/L para dose de ozônio entre 1,6 e 3,7 mg/L e concentração no afluente entre 39,5 e 110,3 µg/L, e para relação H₂O₂/O₃ superior a 0,5 para concentração no afluente entre 26 e 32 µg/L;

Na filtração lenta, para todas as condições de oxidação utilizadas, o efluente do filtro lento com camada intermediária de carvão ativado granular apresentou concentração de atrazina inferior a 0,1 µg/L. A somatória de atrazina e subprodutos resultou em concentração inferior a 0,5 µg/L foi com dose de ozônio consumida superior a 1,6 mg/L para concentração no afluente entre 1,3 e 110,3 µg/L. A associação do peróxido de hidrogênio foi importante na redução dos subprodutos no efluente do filtro lento com camada intermediária de carvão ativado granular, que apresentou para o conteúdo de atrazina somado aos subprodutos concentrações inferiores a 0,5 µg/L, enquadrando-se dentro de padrões restritivos, como o padrão europeu.

O tempo de duração da carreira dos filtros lentos não foi afetado pela adição de atrazina no afluente aos filtros lentos. Quando foi utilizada a oxidação com ozônio o encerramento da carreira ocorreu no filtro com leito de areia;

A utilização de peróxido de hidrogênio na relação H₂O₂/O₃ superior a 0,2 alterou o comportamento da perda de carga no filtro lento de areia reduzindo sua capacidade de remoção de: absorvância, cor verdadeira, cor aparente, nitrogênio amoniacal, nitrato e turbidez. Este efeito não foi observado no leito de carvão ativado granular;

O filtro lento com camada intermediária de carvão ativado granular pode ser utilizado para remoção de atrazina, para atender ao padrão brasileiro de potabilidade (Portaria N° 1469) que preconiza valores inferiores a 2,0 µg/L.

A associação de processos utilizando, a pré-oxidação com ozônio ou a pré-oxidação com ozônio associado ao peróxido de hidrogênio, seguida da filtração lenta com leito intermediário de carvão ativado granular é um tratamento eficiente na redução do conteúdo de atrazina a valores que se enquadrem dentro dos padrões de potabilidade nacionais e internacionais.

7 RECOMENDAÇÕES

Realizar estudos considerando:

Variação no intervalo da taxa de aplicação superficial e no tamanho da camada de carvão ativado granular para redução de atrazina;

Identificação de subprodutos da oxidação de matéria orgânica e atrazina.

8 ANEXOS

ANEXO A – Valores dos parâmetros medidos na Carreira 1

TABELA C1.1 A Valores de Absorvância – 254 nm e de Eficiência (%)

Tempo operação (d)	Água bruta	Pré-filtro dinâmico	Pré-filtro vertical ascend.	Filtro lento areia	Filtro areia cagi	Filtro areia cag	Eficiência (%)		
							Pré- trat.	Filtro areia	Filtro areia-cag
29	0,055	0,068	0,063	0,081	0,060	0,011	0	0	83
38	0,108	0,114	0,109	0,096	0,086	0,062	0	12	43
43	0,053	0,056	0,075	0,081	0,074	0,040	0	0	47
50	0,058	0,064	0,079	0,068	0,000	0,037	0	14	53
52	0,072	0,080	0,070	0,053	0,052	0,025	3	24	64
56	0,076	0,071	0,060	0,046	0,041	0,019	21	23	68
59	0,048	0,049	0,064	0,047	0,046	0,047	0	27	27
63	0,054	0,057	0,056	0,038	0,037	0,017	0	32	70
70	0,046	0,056	0,049	0,036	0,036	0,020	0	27	59
73	0,053	0,050	0,046	0,032	0,030	0,014	13	30	70
Máximo	0,108	0,114	0,109	0,096	0,086	0,062	21	32	83
Mínimo	0,046	0,049	0,046	0,032	0,000	0,011	0	0	27

TABELA C1.2 A Valores de Carbono Orgânico Dissolvido Não-Purgável (mg/L) e de Eficiência (%)

Tempo operação (d)	Água bruta	Pré-filtro dinâmico	Pré-filtro vertical ascend.	Filtro lento areia	Filtro areia cagi	Filtro areia cag	Eficiência (%)		
							Pré- trat.	Filtro areia	Filtro areia-cag
29	2,81	3,26	3,52	3,15	2,66	1,66	0	11	53
38	3,23	3,33	3,49	3,01	2,95	2,01	0	14	42
43	1,70	1,55	1,64	1,61	2,04	1,38	4	1	16
52	1,45	1,78	1,52	1,23	1,30	1,50	0	19	2
56	1,62	1,48	1,67	0,88	1,89	0,60	0	47	64
63	1,03	1,33	1,40	0,88	1,60	1,21	0	37	14
73	0,93	2,27	2,01	1,98	1,72	0,91	0	1	54
79	2,09	2,23	2,72	2,22	0,00	1,76	0	18	35
84	1,90	1,45	1,47	0,50	0,48	0,38	23	66	74
Máximo	3,23	3,33	3,52	3,15	2,95	2,01	23	66	74
Mínimo	0,72	0,89	0,61	0,50	0,00	0,04	0	1	2

TABELA C1.3 A Valores de Cor Verdadeira (uH) e de Eficiência (%)

Tempo operação (d)	Água bruta	Pré-filtro dinâmico	Pré-filtro vertical ascend.	Filtro lento areia	Filtro areia cagi	Filtro areia cag	Eficiência (%)			
							Pré-vert. ascend.	Pré- trat.	Filtro areia	Filtro areia-cag
37	58	47	36	30	31	24	23	38	17	33
42	59	54	40	34	31	26	26	32	15	35
44	65	47	38	27	29	23	19	42	29	39
48	49	46	36	24	23	19	22	27	33	47
51	38	21	12	11	14	7	43	68	8	42
55	49	41	29	20	17	10	29	41	31	66
56	48	36	26	14	16	9	28	46	46	65
58	38	38	27	13	12	9	29	29	52	67
62	34	28	19	8	8	4	32	44	58	79
64	42	34	23	11	11	5	32	45	52	78
69	36	31	20	11	12	8	35	44	45	60
72	34	27	17	10	10	6	37	50	41	65
78	37	35	18	10	11	7	49	51	44	61
79	40	32	17	10	11	8	47	58	41	53
Máximo	65	54	40	34	31	26	49	68	58	79
Mínimo	34	21	12	8	8	4	19	27	8	33

TABELA C1.4 A Valores de Cor Aparente (uH) e de Eficiência (%)

Tempo operação (d)	Água bruta	Pré-filtro dinâmico	Pré-filtro vertical ascend.	Filtro lento areia	Filtro areia cagi	Filtro areia cag	Eficiência (%)			
							Pré-vert. ascend.	Pré- trat.	Filtro areia	Filtro areia-cag
1	280	199	224	196	190	153	0	20	13	32
2	260	231	202	199	192	160	13	22	1	21
5	275	234	184	155	157	129	21	33	16	30
6	216	191	149	141	133	122	22	31	5	18
8	215	177	139	122	121	104	21	35	12	25
9	206	160	117	111	103	84	27	43	5	28
13	335	281	169	115	142	111	40	50	32	34
16	446	313	253	229	259	220	19	43	9	13
24	328	237	170	140	155	126	28	48	18	26
25	266	173	130	115	134	111	25	51	12	15
28	198	138	112	86	107	83	19	43	23	26
29	211	140	109	95	117	90	22	48	13	17
30	184	130	102	54	49	54	22	45	47	47
35	380	320	234	86	112	89	27	38	63	62
38	184	140	92	61	65	56	34	50	34	39
40	177	130	79	56	58	45	39	55	29	43
41	193	138	88	55	64	53	36	54	38	40
42	222	170	95	81	71	68	44	57	15	28
43	185	134	79	57	60	54	41	57	28	32
44	178	125	77	52	54	46	38	57	32	40
45	174	142	82	50	51	47	42	53	39	43
47	196	156	86	52	59	44	45	56	40	49
49	161	124	72	39	43	36	42	55	46	50
50	177	132	69	42	44	36	48	61	39	48
55	169	132	78	42	40	31	41	54	46	60
56	196	156	86	52	59	44	45	56	40	49
57	180	127	62	22	27	17	51	66	65	73
59	163	128	62	23	23	16	52	62	63	74
63	132	103	49	21	11	11	52	63	57	78

TABELA C1.4 A Valores de Cor Aparente (uH) e de Eficiência (%) - continuação

Tempo operação (d)	Água bruta	Pré-filtro dinâmico	Pré-filtro	Filtro	Filtro	Filtro	Eficiência (%)			
			vertical ascend.	lento areia	areia cagi	areia cag	Pré-vert. ascend.	Pré- trat.	Filtro areia	Filtro areia-cag
63	132	103	49	21	11	11	52	63	57	78
65	147	123	57	26	31	18	54	61	54	68
70	137	95	47	22	27	18	51	66	53	62
73	133	91	44	19	24	17	52	67	57	61
79	129	94	41	17	22	14	56	68	59	66
80	132	96	44	25	28	20	54	67	43	55
Máximo	446	344	253	229	259	220	56	68	65	78
Mínimo	129	91	41	17	11	11	0	20	0	1

TABELA C1.5A Valores de Oxigênio Consumido (mg/L) de Eficiência (%)

Tempo operação (d)	Água bruta	Pré-filtro dinâmico	Pré-filtro	Filtro	Filtro	Filtro	Eficiência (%)			
			vertical ascend.	lento areia	areia cagi	areia cag	Pré-vert. ascend.	Pré- trat.	Filtro areia	Filtro areia-cag
37	4,0	2,9	2,4	1,9	1,9	1,1	19	41	21	53
43	3,6	2,6	2,2	2,3	2,2	1,0	15	39	0	55
52	2,5	1,9	1,9	0,7	1,5	0,6	0	24	63	68
58	3,2	1,4	0,8	0,8	0,6	0,0	43	75	0	100
65	2,1	0,6	1,1	1,2	0,2	0,0	0	46	0	100
72	1,3	0,9	0,7	0,6	0,6	0,1	18	44	21	93
81	2,0	2,2	0,7	0,8	0,7	0,2	70	68	0	69
Máximo	4,0	2,9	2,4	2,3	2,2	1,1	70	75	63	100
Mínimo	1,3	0,6	0,7	0,6	0,2	0,0	0	24	0	53

TABELA C1.6 A Valores de Coliformes Totais (NMP/100mL) e de Eficiência (%)

Tempo operação (d)	Água bruta	Pré-filtro dinâmico	Pré-filtro	Filtro	Filtro	Filtro	Eficiência (%)			
			vertical ascend.	lento areia	areia cagi	areia cag	Pré-vert. ascend.	Pré- trat.	Filtro areia	Filtro areia-cag
10	15531	3441	1300	488	411	205	62,2	91,6	62,4	84,3
16	14136	3255	1733	387	248	816	46,8	87,7	77,7	52,9
24	—	14136	1733	248	980	770	87,7	—	85,7	55,6
31	8664	2479	921	178	816	488	62,9	89,4	80,6	47,0
38	6440	5475	1119	141	147	248	79,6	82,6	87,4	77,8
45	9804	5475	1120	126	313	249	79,5	88,6	88,8	77,8
52	7800	2224	218	23	38	15	90,2	97,2	89,6	93,3
59	10462	649	866	16	50	9	0,0	91,7	98,2	99,0
66	6500	1989	189	12	14	6	90,5	97,1	93,7	96,7
71	3240	1013	50	2	12	6	95,0	98,4	96,0	87,3
78	4611	1254	102	4	7	6	91,9	97,8	96,0	93,8
Maximo	15531	14136	1733	488	980	816	95,0	98,4	98,2	99,0
Mínimo	3240	649	50	2	7	6	0,0	82,6	62,4	47,0
val.<10000 (%)	73	91	100	—		0				
val. >5000 (%)	82	27	100							

TABELA C1.7 A Valores de *Escherichia Coli* (NMP/100mL) e de Eficiência (%)

Tempo operação (d)	Água bruta	Pré-filtro dinâmico	Pré-filtro vertical ascend.	Filtro lento areia	Filtro areia cagi	Filtro areia cag	Eficiência (%)			
							Pré-vert. ascend.	Pré- trat.	Filtro areia	Filtro areia-cag
11	2130	98	31	2	3	5	68,9	98,6	93,4	83,0
17	327	179	52	28	45	17	70,9	84,1	46,5	67,5
25	2187	723	179	54	67	52	75,3	91,8	69,9	70,9
32	305	133	53	23	37	17	60,3	82,6	57,4	67,4
39	310	158	26	4	0	4	83,6	91,6	84,2	84,2
46	600	259	42	5	14	3	83,9	93,1	88,0	92,8
53	520	285	24	3	9	1	91,6	95,4	87,1	95,8
60	588	272	49	2	7	2	82,1	91,7	95,9	95,9
67	323	134	10	2	3	0	92,7	97,0	79,4	100,0
72	238	87	14	0	0	1	84,3	94,2	99,3	92,7
79	410	91	9	2	1	1	90,5	97,9	76,7	88,4
Máximo	2187	723	179	54	67	52	92,7	98,6	99,3	100,0
Mínimo	238	87	9	0	0	0	60,3	82,6	46,5	67,4
val.<=5(%)				73	38	73				

TABELA C1.8 A Valores de Nitrogênio Amoniacal (mg/L) e de Eficiência (%)

Tempo operação (d)	Água bruta	Pré-filtro dinâmico	Pré-filtro vertical ascendente	Filtro lento areia	Filtro lento areia-cagi	Filtro lento areia-cag	Eficiência (%)		
							Pré- tratamento	Filtro areia	Filtro areia-cag
29	0,39	0,26	0,20	0,21	0,22	0,17	50	0	13
44	0,31	0,24	0,17	0,15	0,13	0,15	44	14	14
50	0,29	0,23	0,13	0,09	0,10	0,05	54	36	64
57	0,25	0,20	0,09	0,03	0,03	0,01	64	67	89
63	0,20	0,15	0,09	0,03	0,04	0,02	55	67	78
Máximo	0,39	0,26	0,20	0,21	0,22	0,17	64	67	89
Mínimo	0,20	0,15	0,09	0,03	0,03	0,01	44	0	13

TABELA C1.9 A Valores de Nitrato (mg/L) e de Eficiência (%)

Tempo operação (d)	Água bruta	Pré-filtro dinâmico	Pré-filtro vertical ascendente	Filtro lento areia	Filtro lento areia-cagi	Filtro lento areia-cag	Eficiência (%)		
							Pré- tratamento	Filtro areia	Filtro areia-cag
29	0,46	0,60	0,53	0,69	0,48	0,11	0	0	78
44	0,41	0,49	0,54	0,60	0,52	0,18	0	0	66
50	0,44	0,50	0,56	0,55	0,51	0,14	0	2	75
57	0,51	0,52	0,54	0,46	0,43	0,06	0	15	88
63	0,44	0,53	0,50	0,39	0,38	0,04	0	21	92
Máximo	0,51	0,60	0,56	0,69	0,52	0,18	0	21	92
Mínimo	0,41	0,49	0,50	0,39	0,38	0,04	0	0	66

TABELA C1.10 A Valores de Turbidez (uT) e de Eficiência (%)

Tempo operação (d)	Água bruta	Pré-filtro dinâmico	Pré-filtro vertical ascendente	Filtro lento areia	Filtro lento areia-cagi	Filtro lento areia-cag	Eficiência (%)		
							Pré- tratamento	Filtro areia	Filtro areia-cag
—	37,3	30,0	26,7	31,8	30,0	22,1	28	0	17
1	31,6	26,3	23,3	25,2	23,7	21,8	26	0	6
2	149,0	128,0	82,0	21,9	24,3	20,0	45	73	76
4	35,4	26,9	21,1	18,6	19,0	17,0	40	12	19
5	28,4	23,5	16,9	16,7	16,1	15,6	40	1	8

TABELA C1.10 A Valores de Turbidez (uT) e e de Eficiência (%)

Tempo operação (d)	Água bruta	Pré-filtro dinâmico	Pré-filtro	Filtro	Filtro	Filtro	Eficiência (%)		
			vertical ascendente	lento areia	lento areia-cagi	lento areia-cag	Pré- tratamento	Filtro areia	Filtro areia-cag
8	24,9	16,7	12,5	12,2	10,8	10,0	50	2	20
11	55,9	42,6	22,2	14,5	23,1	13,1	60	35	41
13	37,2	26,6	16,6	11,7	15,4	12,2	55	30	27
14	57,0	29,4	18,0	16,1	19,0	15,9	68	11	12
14	98,9	77,3	23,9	15,3	20,6	14,8	76	36	38
15	56,3	45,1	40,4	44,7	52,5	46,5	28	<0	0
19	25,5	17,0	14,4	10,3	14,5	11,7	44	28	19
20	25,3	16,5	13,2	9,5	14,1	11,0	48	28	17
20	26,2	16,3	12,7	8,2	10,7	9,6	52	36	25
21	29,7	17,1	13,2	6,9	10,2	8,5	56	47	35
22	50,1	27,0	14,7	8,6	10,6	9,8	71	41	33
23	43,6	30,1	20,4	19,4	19,2	20,5	53	5	0
24	34,5	20,6	16,0	14,9	16,8	15,8	54	7	1
25	44,2	28,7	12,2	9,8	12,3	10,4	72	20	15
26	27,9	20,0	14,4	10,3	12,5	10,8	48	28	25
27	24,5	15,5	12,6	10,1	11,7	10,8	49	20	14
28	21,9	14,7	12,1	9,3	11,0	9,8	45	24	19
29	21,5	14,1	11,4	6,0	12,3	6,8	47	47	40
30	14,6	14,0	10,8	8,8	11,5	9,5	26	18	12
34	42,8	37,5	25,9	8,7	12,2	8,9	40	67	65
35	25,8	21,7	18,6	20,2	19,4	21,0	28	0	0
,	41,3	37,4	33,0	16,3	7,3	18,5	20	51	44
36	21,5	15,8	10,8	8,4	8,2	7,6	50	22	30
37	21,4	16,4	10,3	7,3	7,5	6,7	52	29	35
38	20,7	15,3	10,1	7,6	8,5	6,3	51	24	38
39	21,6	14,9	9,3	6,7	7,4	6,5	57	28	30
40	20,1	14,8	9,7	6,3	7,9	6,4	52	35	34
41	27,7	19,4	17,0	7,4	10,8	7,8	39	56	54
42	19,1	13,3	8,8	7,0	7,6	6,9	54	21	22
43	22,0	12,8	8,0	5,4	9,6	5,3	63	33	35
44	18,0	14,5	8,9	6,2	7,2	6,3	51	30	29
45	32,5	27,8	12,7	6,6	11,1	6,5	61	48	49
46	24,3	17,1	9,7	6,0	9,2	5,8	60	39	40
47	19,2	15,6	9,0	4,8	6,0	4,3	53	47	53
48	18,4	13,8	7,9	4,1	4,7	4,0	57	48	50
48	20,0	13,8	7,3	4,2	4,0	3,5	63	43	53
49	19,8	15,3	8,0	4,6	5,3	4,5	60	42	44
50	18,6	13,5	7,3	3,7	4,1	3,2	61	48	56
51	17,6	13,6	7,2	3,4	3,7	2,8	59	53	61
52	17,1	13,4	7,5	3,3	3,9	2,4	56	56	68
53	18,4	14,4	8,0	3,3	4,2	2,5	57	58	69
54	19,0	13,8	7,8	3,1	3,4	2,7	59	60	65
55	22,1	14,0	7,5	3,0	3,4	2,5	66	61	67
60	17,9	13,8	7,0	2,5	2,8	2,2	61	64	68

TABELA C1.0 A Valores de Turbidez (UT) e de Eficiência (%) - continuação

Tempo operação (d)	Água bruta	Pré-filtro dinâmico	Pré-filtro vertical ascendente	Filtro lento areia	Filtro lento areia-cagi	Filtro lento areia-cag	Eficiência (%)		
							Pré- tratamento	F.lento areia	F. lento areia-cag
61	18,0	12,9	6,6	2,7	3,3	2,5	63	60	62
62	16,7	12,3	6,4	2,5	3,0	2,2	62	61	66
63	19,3	14,6	6,6	2,5	3,1	2,0	66	62	69
64	19,8	13,7	8,0	2,7	3,8	2,6	60	66	67
65	19,7	13,7	6,8	2,7	4,0	2,9	65	61	57
66	18,0	12,2	6,4	2,7	3,8	2,6	64	58	59
67	17,5	11,5	6,1	2,7	3,9	2,6	65	56	58
68	15,8	10,7	6,1	2,7	3,8	2,8	62	56	53
69	16,8	11,6	5,6	2,6	3,1	2,5	67	54	56
70	17,5	11,8	5,5	2,6	3,1	2,4	69	52	56
71	17,0	11,2	5,6	2,5	3,3	2,5	67	56	56
72	16,9	11,6	5,3	2,7	3,3	2,5	68	50	54
73	16,9	10,6	5,9	2,4	3,4	2,4	65	60	59
74	17,9	11,4	5,5	2,7	3,9	2,7	69	51	50
75	14,5	11,0	5,6	2,4	3,3	2,4	61	57	58
76	17,4	11,1	5,5	2,5	3,5	2,5	68	54	55
77	16,9	11,2	5,4	2,2	3,1	2,5	68	59	54
78	18,4	11,9	5,2	2,2	3,0	2,5	72	58	53
79	16,4	10,6	5,3	3,4	3,1	2,1	68	36	60
80	16,7	11,0	4,9	2,8	3,3	1,9	71	43	62
81	16,9	10,7	4,9	2,3	3,5	2,0	71	54	60
82	14,4	10,5	5,0	2,3	3,3	2,1	66	54	57
83	16,3	10,1	5,4	2,4	2,7	1,9	67	55	65
84	15,5	10,2	4,7	1,8	3,3	1,6	70	61	67
Máximo	149,0	128,0	82,0	44,7	52,5	46,5	76	73	0
Mínimo	14,4	10,1	4,7	1,8	2,7	1,6	20	0	0
val. <=5(%)	—	—	5	47	43	46			

TABELA C1.11 A Valores de Alcalinidade (mg/L)

Tempo operação (d)	Água bruta	Pré-filtro dinâmico	Pré-filtro vertical ascendente	Filtro lento areia	Filtro lento areia-cagi	Filtro lento areia-cag
35	8,0	8,0	7,2	8,4	7,6	7,6
44	6,4	6,4	6,4	6,4	6,0	6,0
46	7,2	6,4	7,2	7,2	6,4	6,4
55	7,2	6,0	6,8	6,8	7,6	8,4
58	6,8	6,8	6,4	6,4	6,8	6,8
62	6,4	6,8	6,8	6,4	6,4	6,8
69	6,0	6,0	6,4	6,8	6,0	6,2
79	7,1	7,1	7,1	7,6	7,6	7,6
83	7,6	7,6	7,1	6,7	7,1	6,7
Maximo	8,0	8,0	7,2	8,4	7,6	8,4
Mínimo	6,0	6,0	6,4	6,4	6,0	6,0

TABELA C1.12 A Valores de pH

Tempo de operação (d)	Água bruta	Pré-filtro dinâmico	Pré-filtro vert. ascendente	Filtro lento areia	Filtro lento areia-cagi	Filtro lento areia-cag
26	7,42	7,48	7,65	7,59	7,59	7,64
29	7,90	7,80	7,70	7,65	7,80	7,60
36	7,40	7,40	6,10	7,20	7,40	7,10
45	6,40	6,60	6,70	6,50	6,50	6,40
47	6,10	6,10	6,20	6,20	6,30	6,20
47	7,26	7,54	7,35	7,37	7,35	7,03
50	7,82	7,86	7,58	7,50	7,48	7,04
51	7,35	7,66	7,63	7,75	7,97	7,32
52	7,62	7,87	7,95	8,08	8,07	7,96
53	7,14	7,40	7,40	7,56	7,48	7,18
54	7,34	7,51	7,56	7,66	7,55	7,34
55	7,35	7,69	7,47	7,35	7,50	7,20
56	7,52	7,60	7,96	7,43	7,58	7,07
56	6,30	6,30	6,20	6,70	6,30	6,50
59	6,90	6,90	6,65	7,00	6,70	6,70
Máximo	7,90	7,87	7,96	8,08	8,07	7,96
Mínimo	6,10	6,10	6,10	6,20	6,30	6,20

TABELA C1.13 A Valores de Oxigênio Dissolvido (mg/L)

Tempo operação (d)	Água bruta	Pré-filtro dinâmico	Pré-filtro vertical ascendente	Filtro lento areia	Filtro lento areia-cagi	Filtro lento areia-cag
37	6,2	6,0	6,1	6,0	6,0	3,2
43	7,4	7,4	7,4	7,2	7,4	3,6
50	7,5	7,2	7,1	7,3	7,3	4,8
57	7,9	7,1	7,0	6,7	6,9	2,7
63	7,5	7,2	7,4	7,4	7,4	3,3
72	7,9	7,7	7,6	7,4	7,5	3,3
81	7,8	7,5	7,4	7,0	7,1	2,0
Máximo	7,9	7,7	7,6	7,4	7,5	4,8
Mínimo	6,2	6,0	6,1	6,0	6,0	2,0

TABELA C1.14A Valores de Sólidos Suspensos Totais (mg/L) e de Eficiência (%)

Tempo operação (d)	Água bruta	Pré-filtro dinâmico	Pré-filtro vertical ascendente	Filtro lento areia	Filtro lento areia-cagi	Filtro lento areia-cag	Eficiência (%)		
							Pré-tratamento	Filtro areia	Filtro areia-cag
3	112,6	44,1	20,7	4,3	8,1	5,4	82	79	74
8	12,6	4,4	4,1	1,7	2,8	2,3	68	58	45
15	29,2	9,8	2,7	1,4	3,8	3,3	91	48	0
24	31,2	6,7	3,4	2,3	3,8	4,1	89	34	0
30	10,0	3,0	1,3	0,5	0,5	1,7	87	64	0
36	11,1	5,9	2,8	2,5	3,7	3,9	75	9	0
43	11,6	4,5	1,2	0,5	0,8	0,8	90	61	34
52	10,6	4,3	0,7	0,1	0,2	0,1	93	93	92
59	11,1	8,7	1,3	0,4	0,3	0,2	88	71	89
62	8,1	3,5	0,8	0,1	0,2	0,1	90	84	89
55	10,4	3,5	1,1	0,1	0,3	0,1	90	89	88
Máximo	112,6	44,1	20,7	4,3	8,1	5,4	93	93	92
Mínimo	8,1	3,0	0,7	0,1	0,2	0,1	68	9	0
val. <0,5(%)	—	—	—	0,55	0,50	0,36			

TABELA C1.15A Valores de Condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$) e de Eficiência (%)

	Água bruta	Pré-filtro dinâmico	Pré-filtro vertical ascend.	Filtro areia cag	Filtro areia cagi	Filtro lento areia	Eficiência (%)		
							Pré- trat.	Filtro areia	Filtro areia-cag
36	17,7	16,8	18,5	15,4	16,3	16,8	0,00	17	9
51	17,9	18,2	18,2	17,8	18,6	18,8	0,00	2	0
55	17,1	15,2	17,0	16,8	16,6	17,0	0	1	0
58	16,9	15,0	16,3	14,3	15,2	16,9	3	13	0
Maximo	17,9	18,2	18,5	17,8	18,6	18,8	3	17	9
Mínimo	16,9	15,0	16,3	14,3	15,2	16,8	0,00	1	0

TABELA C1.16A Valores de Perda de Carga (cm)

Tempo de operação (d)	Filtro lento areia	Filtro lento areia-cag
2	1,9	1,1
3	1,9	1,1
5	2,0	1,1
6	2,0	1,1
7	2,1	1,1
9	2,3	1,1
14	2,3	1,1
15	2,3	1,1
16	2,4	1,1
17	2,4	1,1
19	3,1	1,1
21	5,4	2,8
25	5,7	3,0
27	4,9	3,0
30	11,6	6,7
32	10,8	7,2
34	2,6	12,7
36	3,0	10,3
39	3,5	8,4
44	5,3	8,3
45	6,3	7,8
46	7,6	8,0
48	9,1	22,1
54	12,9	52,7
55	13,8	52,5
57	16,8	52,8
60	16,8	54,6
66	16,8	62,8
76	17,2	67,4
81	20,8	90,1
84	35,8	96,1

ANEXO B - Valores dos parâmetros medidos na Carreira 2

TABELA C2. 1 A Valores de Absorvância – 254 nm e de Eficiência (%)

Tempo operação (d)	Pré-filtro vertical ascendente	Filtro lento areia	Filtro lento areia-cagi	Filtro lento areia-cag	Eficiência (%)		
					Pré- trat,	Filtro areia	Filtro areia-cag
6	0,047	0,039	0,040	0,025	0	17	47
10	0,039	0,035	0,037	0,024	22	10	38
15	0,036	0,022	0,020	0,004	5	39	89
19	0,042	0,027	0,028	0,009	9	36	79
20	0,044	0,023	0,029	0,009	0	48	80
24	0,043	0,025	0,028	0,017	9	42	60
27	0,043	0,032	0,031	0,012	2	26	72
31	0,043	0,025	0,030	0,011	2	42	74
38	0,046	0,034	0,037	0,014	4	26	70
45	0,042	0,028	0,034	0,012	0	33	71
52	0,037	0,023	0,031	0,001	24	38	98
59	0,038	0,019	0,033	0,001	43	50	98
66	0,089	0,060	0,074	0,029	0	33	67
80	0,047	0,029	0,034	0,006	4	38	87
90	0,042	0,011	0,026	0,003	31	74	93
Máximo	0,089	0,060	0,074	0,029	43	89	98
Mínimo	0,036	0,008	0,020	0,001	0	10	38

TABELA C2. 2 B Valores de Carbono Orgânico Dissolvido Não-Purgável (mg/L) e Eficiência (%)

Tempo de operação (d)	Pré-filtro vertical ascendente	Filtro lento areia	Filtro lento areia-cagi	Filtro lento areia-cag	Eficiência (%)		
					Pré- tratamento	Filtro areia	Filtro areia-cag
5	0,82	0,39	0,79	0,39	26	53	52
8	1,23	1,37	0,79	0,49	27	0	60
12	1,72	1,69	1,23	0,44	0	2	74
15	1,05	1,52	0,73	0,00	0	0	100
20	1,14	0,81	0,68	0,57	0	29	50
23	1,95	1,19	3,15	0,67	1	39	66
27	0,82	0,52	1,80	0,29	0	37	65
34	0,81	0,91	0,80	0,34	31	0	58
41	1,22	1,56	1,53	1,25	25	0	0
48	0,26	0,22	0,17	0,32	27	15	0
55	1,60	1,55	1,92	1,69	<0	3	0
69	1,07	0,00	0,82	0,00	20	100	100
76	1,93	1,28	1,22	0,55	0	34	71
86	1,52	1,12	1,31	0,50	0	26	67
Máximo	1,95	1,69	3,15	1,69	31	100	100
Mínimo	0,26	0,00	0,17	0,00	0	0	0

TABELA C2. 3 B Valores de Cor Verdadeira (uH) e Eficiência (%)

Tempo de operação (d)	Água bruta	Pré-filtro dinâmico	Pré-filtro vertical ascendente	Filtro lento areia	Filtro areia cagi	Filtro lento areia-cag	Eficiência (%)		
							Pré-trat.	Filtro areia	Filtro areia-cag
1	40	34	27	20	22	20	33	26	26
5	43	34	27	13	19	15	37	52	44
8	35	31	23	11	12	7	34	52	70
12	41	34	30	17	18	11	27	43	63
15	34	32	27	17	18	14	21	37	48
19	40	35	30	18	18	15	25	40	50
22	35	30	24	14	17	10	31	42	58
25	38	28	22	12	14	8	42	45	64
33	39	33	26	11	20	10	33	58	62
40	33	28	21	8	14	6	36	62	71
47	39	31	22	8	15	7	44	64	68
50	72	59	40	12	24	10	44	70	75
54	78	62	37	12	21	8	53	68	78
61	64	43	30	16	24	14	53	47	53
64	33	25	17	8	12	6	48	53	65
68	46	41	25	5	15	6	46	80	76
71	30	23	17	6	11	4	43	65	76
78	30	25	16	4	9	1	47	75	94
85	36	26	15	5	8	1	58	67	93
Máximo	78	62	40	20	24	20	58	80	94
Mínimo	30	23	15	4	8	1	21	26	26
val.<10 (%)	0	0	0	37	11	53			

TABELA C2. 4 B Valores de Cor Aparente (uH) e de Eficiência (%)

Tempo de operação (d)	Pré-filtro vertical ascendente	Filtro lento areia	Filtro lento areia-cagi	Filtro lento areia-cag	Pré-tratamento	Eficiência (%)	
						Filtro areia	Filtro areia-cag
6	68	45	51	43	48	34	37
10	55	17	22	15	51	69	73
13	48	14	15	9	58	71	81
17	61	19	21	12	46	69	80
20	57	15	23	16	38	74	72
24	53	18	23	19	55	66	64
27	58	20	24	15	46	66	74
31	46	19	25	15	59	59	67
38	50	18	30	16	56	64	68
45	48	13	26	12	56	73	75
52	44	13	25	11	57	70	75
55	42	13	25	11	57	69	74
59	40	10	22	10	64	75	75
66	76	25	46	26	60	67	66
69	36	12	20	10	58	67	72
73	53	10	25	12	59	81	77
76	35	9	17	7	61	74	80
80	33	9	19	5	66	73	85
83	33	8	15	3	64	76	91
90	28	7	14	2	73	75	93
Máximo	76	45	51	43	73	81	93
Mínimo	28	7	14	2	38	34	37

TABELA C2. 5B Valores de Oxigênio Consumido e de Eficiência (%)

Tempo de operação (d)	Água bruta	Pré-filtro dinâmico	Pré-filtro vertical ascend.	Filtro lento areia	Filtro areia cagi	Filtro areia cag	Eficiência (%)		
							Pré- trat.	Filtro areia	Filtro areia-cag
1	1,8	1,3	0,8	0,4	0,8	0,8	57	47	0
4	1,9	1,0	0,8	0,7	0,4	0,3	57	13	63
12	2,1	1,6	1,4	1,2	1,2	0,8	32	14	43
19	1,7	1,0	0,7	0,9	0,5	0,1	61	0	85
26	1,9	1,2	1,1	0,7	0,8	0,4	43	33	67
33	2,6	1,0	0,7	0,7	0,9	0,2	75	0	77
40	1,0	0,3	0,6	0,1	0,0	0,0	42	82	100
47	1,5	1,4	0,8	0,6	0,8	0,2	50	27	80
54	1,5	1,3	0,8	0,7	0,9	0,7	45	19	13
68	3,5	2,7	2,0	0,4	1,5	0,2	43	79	92
75	1,8	1,7	1,1	1,4	1,4	0,3	39	0	77
85	2,3	1,3	0,9	0,9	0,7	0,2	63	0	76
Máximo	3,5	2,7	2,0	1,4	1,5	0,8	75	82	100
Mínimo	1,0	0,3	0,6	0,1	0,0	0,0	32	0	13

TABELA C2. 6B Valores de Bactérias Heterotróficas (UFC/100mL) e de Eficiência (%)

Tempo de operação (d)	Água bruta	Pré-filtro dinâmico	Pré-filtro vertical ascend.	Filtro lento areia	Filtro areia cagi	Filtro lento areia-cag	Eficiência (%)		
							Pré- tratamento	Filtro areia	Filtro areia-cag
8	324	299	74	9	14	26	77,2	87,4	65,2
15	330	156	74	10	37	8	77,6	86,4	89,2
22	370	266	51	12	44	18	86,3	75,5	65,1
29	350	299	32	10	36	32	90,7	69,1	0,0
44	623	146	62	7	18	29	90,0	89,1	53,9
58	276	166	62	15	12	56	77,4	75,8	10,9
66	339	189	31	5	17	16	90,8	84,3	48,2
82	470	414	32	4	51	18	93,1	87,3	43,5
Máximo	623	414	74	15	51	56	93,1	89,1	89,2
Mínimo	276	146	31	4	12	8	77,2	69,1	0,0

TABELA C2. 7B Valores de Coliformes Totais (NMP/100mL(mg/L) e de Eficiência (%)

Tempo de operação (d)	Água bruta	Pré-filtro dinâmico	Pré-filtro vertical ascend.	Filtro lento areia	Filtro areia cagi	Filtro lento areia-cag	Eficiência (%)		
							Pré- tratamento	Filtro areia	Filtro areia-cag
2	2560	1576	272	24	88	48	89,4	91,2	82,4
9	2650	816	57	1	1	0	97,9	98,2	100,0
15	2280	1203	313	2	16	1	86,3	99,4	99,7
22	4330	866	137	11	24	9	96,8	92,0	93,2
29	1872	1046	98	7	21	3	94,7	92,6	96,8
36	6867	1039	378	21	93	15	94,5	94,4	96,2
44	3130	1203	179	5	10	14	94,3	97,1	92,0
52	4320	1733	416	13	43	7	90,4	96,8	98,2
60	3640	934	328	6	42	12	91,0	98,1	96,4
67	1541	1046	93	2	21	2	93,9	97,9	97,9
73	2280	785	184	9	46	4	91,9	95,3	97,8
81	3590	980	178	6	17	4	95,0	96,5	97,7
88	6867	1553	132	4	12	1	98,1	96,9	99,2
Máximo	6867	1733	416	24	93	48	98,1	99,4	100,0
Mínimo	1541	785	57	1	1	0	86,3	91,2	82,4
val. <10(%)	—	—	—	69	7	69			
val. <25(%)				100	61	92			

TABELA C2. 8 B Valores de Escherichia Coli (NMP/100mL) e de Eficiência (%)

Tempo de operação (d)	Água bruta	Pré-filtro dinâmico	Pré-filtro vertical ascend.	Filtro lento areia	Filtro areia cagi	Filtro lento areia-cag	Eficiência (%)		
							Pré-tratamento	Filtro areia	Filtro areia-cag
2	520,0	109,0	37,3	5,2	8,4	12,2	92,8	86,1	67,3
9	200,0	65,0	5,2	0,0	0,0	0,0	97,4	100,0	100,0
15	520,0	69,7	9,6	0,0	3,1	0,0	98,2	100,0	100,0
22	100,0	48,0	21,8	0,0	5,2	0,0	78,2	100,0	100,0
29	173,0	75,9	18,1	0,0	2,0	0,0	89,5	100,0	100,0
36	504,0	63,0	32,7	1,0	2,0	0,0	93,5	96,9	100,0
44	98,0	41,9	24,3	4,1	1,0	0,0	75,2	83,1	100,0
52	200,0	72,0	12,2	1,0	1,0	0,0	93,9	91,8	100,0
60	100,0	95,0	34,5	1,0	3,0	0,0	65,5	97,1	100,0
67	100,0	69,1	20,1	0,0	6,3	0,0	79,9	100,0	100,0
73	300,0	52,0	3,1	1,0	1,0	0,0	99,0	67,7	100,0
81	158,0	58,1	18,5	0,0	3,1	0,0	88,3	100,0	100,0
88	146,0	58,8	6,3	0,0	0,0	0,0	95,7	100,0	100,0
Máximo	520,0	109,0	37,3	5,2	8,4	12,2	99,0	100,0	100,0
Mínimo	98,0	41,9	3,1	0,0	0,0	0,0	65,5	67,7	67,3

TABELA C2. 9 B Nitrogênio Amoniacal (mg/L) e Eficiência (%)

Tempo de operação (d)	Água bruta	Pré-filtro dinâmico	Pré-filtro vertical ascend.	Filtro lento areia	Filtro areia cagi	Filtro lento areia-cag	Eficiência (%)		
							Pré-tratamento	Filtro areia	Filtro areia-cag
1	0,16	0,17	0,10	0,07	0,07	0,07	38	30	30
5	0,25	0,14	0,12	0,02	0,05	0,02	52	83	83
12	0,18	0,11	0,08	0,01	0,01	0,01	56	88	88
19	0,14	0,10	0,06	0,02	0,01	0,00	57	67	100
26	0,18	0,13	0,08	0,03	0,05	0,03	56	63	63
33	0,13	0,07	0,04	0,00	0,03	0,00	69	100	100
40	0,15	0,10	0,07	0,03	0,04	0,01	53	57	86
47	0,14	0,11	0,07	0,04	0,10	0,04	50	43	43
54	0,14	0,12	0,07	0,02	0,04	0,02	50	71	71
61	0,26	0,18	0,13	0,04	0,07	0,02	50	69	85
68	0,23	0,14	0,10	0,03	0,05	0,03	57	70	70
75	0,18	0,15	0,07	0,05	0,12	0,03	61	29	57
85	0,13	0,05	0,04	0,00	0,03	0,00	69	100	100
Máximo	0,26	0,18	0,13	0,07	0,12	0,07	69	100	100
Mínimo	0,13	0,05	0,04	0,00	0,01	0,00	38	29	30

TABELA C2. 10 B Valores de Nitrato (mg/L) e de Eficiência (%)

Tempo de operação (d)	Água bruta	Pré-filtro dinâmico	Pré-filtro vertical ascend.	Filtro lento areia	Filtro areia cagi	Filtro areia cag	Eficiência (%)		
							Pré-tratamento	Filtro areia	Filtro areia-cag
1	0,65	0,52	0,23	0,09	0,15	0,14	65	61	39
5	0,52	0,44	0,22	0,02	0,06	0,01	58	91	95
12	0,6	0,39	0,25	ND	0,03	0,03	58		88
19	0,53	0,47	0,25	0,02		0,01	53	92	96
26	0,62	0,37	0,16	0,02	0,07	0,01	74	88	94
33	0,71	0,37	0,3	0,11	0,16	0,09	58	63	70
40	0,61	0,41	0,25	0,08	0,15	0,11	59	68	56
47	0,56	0,42	0,23	0,09	0,09	0,05	59	61	78
54	0,61	0,47	0,24	0,1	0,14	0,05	61	58	79
61	0,24	0,12	0,13	0,1	0,16	0,17	46	23	0
68	0,84	0,53	0,22	0,09	0,1	0,06	74	59	73
75	0,44	0,28	0,08	nd	nd	nd	82		
85	0,42	0,22	0,02	nd	0,03	nd	95		
Máximo	0,84	0,53	0,30	0,11	0,16	0,17	95	92	96
Mínimo	0,24	0,12	0,02	0,02	0,03	0,01	46	23	0

TABELA C2. 11 B Valores de Turbidez (uT) e de Eficiência (%)

	Pré-filtro vertical ascendente	Filtro lento areia	Filtro lento areia-cagi	Filtro lento areia-cag	Eficiência (%)		
					Pré- tratamento	Filtro areia	Filtro areia-cag
1	8,9	4,0	3,0	6,2	30	55	31
2	8,4	3,4	3,8	1,8	41	59	78
3	8,3	2,9	3,5	0,9	43	65	89
5	8,2	3,9	5,0	3,4	49	52	58
6	8,8	5,3	6,2	5,5	47	40	37
7	7,5	4,7	5,8	4,7	47	38	37
8	6,7	2,8	4,7	3,1	53	57	53
9	7,1	2,3	3,3	2,7	52	67	62
10	6,4	1,6	2,7	2,2	59	75	66
11	5,4	1,2	2,0	1,1	67	78	79
12	5,3	1,6	2,0	1,2	68	69	77
13	5,6	1,4	1,7	1,0	63	74	83
14	5,9	1,3	1,8	0,9	57	78	85
15	6,6	1,4	1,7	1,0	55	78	85
16	6,8	1,3	1,7	1,1	53	82	84
17	7,2	1,5	2,1	1,3	48	79	81
18	6,4	1,9	2,6	1,5	46	71	77
19	6,2	1,6	2,4	1,5	45	74	76
20	6,1	1,7	2,3	1,5	46	72	75
21	6,5	2,6	2,7	1,7	49	60	74
22	6,6	2,2	2,8	1,9	53	67	71
23	6,5	1,9	2,6	1,1	54	71	83
24	7,0	2,1	2,8	1,7	53	70	76
25	6,2	2,4	3,1	1,8	57	61	71
26	6,1	2,3	3,0	1,9	57	62	69
27	5,8	2,8	3,2	2,0	56	51	65
29	5,8	2,5	3,0	2,1	58	56	64
30	6,0	3,2	3,4	2,2	58	47	64
31	5,4	2,8	2,1	2,1	61	49	62
32	5,8	2,8	3,4	2,5	65	53	57
33	6,8	2,7	3,9	2,3	52	60	65
34	6,0	3,1	3,0	2,6	59	48	57
36	6,4	2,9	4,1	2,7	61	54	58
38	5,9	2,6	4,2	2,3	56	56	61
39	6,4	2,6	4,0	2,4	56	60	62
40	6,0	2,7	4,2	2,6	60	55	57
41	6,1	2,8	4,5	2,8	58	53	54
42	5,8	3,1	4,2	3,1	63	47	48
43	5,5	2,6	4,1	2,5	51	53	55
44	5,8	2,3	3,9	2,1	54	60	63
45	5,7	2,2	3,5	1,9	56	62	67
46	5,6	2,3	4,0	2,0	60	59	64
47	5,9	2,2	4,0	1,9	55	63	68
48	5,7	2,2	3,9	2,0	71	62	64
50	6,2	2,5	3,9	2,3	54	59	64
51	5,8	2,0	3,9	2,2	56	66	63

TABELA C2. 11 B Valores de Turbidez (uT) e de Eficiência (%) – continuação

Tempo de operação (d)	Pré-filtro vertical ascendente	Filtro lento areia	Filtro lento areia-cagi	Filtro lento areia-cag	Eficiência (%)		
					Pré- tratamento	Filtro areia	Filtro areia-cag
52	5,3	1,8	3,5	1,9	60	66	65
53	5,1	2,0	3,7	2,1	62	61	59
55	4,9	1,8	3,5	1,7	61	63	65
56	5,2	1,8	3,7	1,8	60	66	65
57	5,5	1,9	3,8	1,5	62	65	73
59	4,6	1,5	3,0	1,4	69	67	70
60	4,5	1,5	2,9	1,5	69	68	68
61	5,0	1,8	3,8	1,9	64	64	63
62	5,1	1,9	3,5	2,2	64	63	57
63	4,9	1,6	3,6	1,8	60	67	64
64	4,5	1,5	3,1	1,3	62	68	72
65	5,0	1,3	2,8	1,3	66	75	73
66	8,5	2,3	5,2	3,2	66	73	62
67	5,9	2,1	4,3	2,7	55	65	54
68	4,4	2,0	3,1	2,0	62	54	54
69	4,0	1,5	2,9	1,8	65	64	56
70	4,0	1,4	2,5	1,5	64	65	63
71	3,8	1,3	2,5	0,8	63	66	79
72	3,8	1,1	2,3	0,9	70	73	77
73	5,3	1,0	2,9	1,4	65	80	74
74	4,8	1,5	3,0	1,8	64	68	62
75	4,3	1,5	2,6	1,6	65	66	64
76	3,9	1,3	2,0	1,4	65	66	65
78	4,1	1,4	2,2	1,4	67	66	65
79	4,2	1,2	2,9	1,2	67	71	72
80	3,9	1,2	2,0	1,0	68	70	73
81	3,9	1,2	2,2	1,0	66	71	73
82	3,9	1,2	2,0	0,9	68	69	76
83	4,0	1,5	2,4	1,0	69	63	75
84	4,2	1,3	2,2	1,2	64	69	71
85	3,9	1,2	2,2	1,4	68	70	64
86	3,4	1,6	2,2	0,8	64	54	78
87	3,4	1,3	1,9	0,9	71	63	74
88	3,5	1,1	1,7	0,8	74	70	78
89	3,5	1,0	1,8	0,8	75	70	78
90	3,4	1,1	1,8	0,6	73	68	82
91	3,4	1,1	1,7	0,8	73	68	78
92	3,7	1,1	1,8	0,8	69	71	79
93	3,8	1,3	2,3	1,5	66	66	62
94	3,4	1,1	1,9	0,9	72	67	73
95	2,8	1,0	1,8	0,6	81	64	80
Máximo	8,9	5,3	6,2	6,2	81	81	82
Mínimo	2,8	1,0	1,7	0,6	30	30	38

TABELA C2. 12 B Valores de Alcalinidade (mg/L) e de Eficiência (%)

Tempo de operação (d)	Água bruta	Pré-filtro dinâmico	Pré-filtro vert. lito len ascendente	Filtro lento areia	Filtro lento areia-cagi	Filtro lento areia-cag
6	6,7	6,7	6,3	7,1	6,7	5,9
10	6,7	6,7	7,6	8,4	8,0	7,6
13	6,7	6,3	6,3	6,7	6,7	7,6
17	6,3	6,3	5,5	5,6	6,3	6,7
27	6,3	6,3	6,3	6,7	6,3	6,7
38	7,1	6,7	6,3	6,3	6,3	7,1
45	7,1	7,1	8,0	6,3	7,1	6,3
52	6,9	6,8	6,7	6,7	6,7	6,6
59	6,3	6,7	6,0	6,7	6,0	6,3
73	6,4	6,9	6,9	6,9	6,9	6,7
80	8,3	7,4	7,4	7,4	6,9	6,4
90	7,8	7,8	8,3	7,8	7,4	6,9
Máximo	8,3	7,8	8,3	8,4	8,0	7,6
Mínimo	6,3	6,3	5,5	5,6	6,0	5,9

TABELA C2. 13 B Valores de pH

Tempo de operação (d)	Água bruta	Pré-filtro dinâmico	Pré-filtro vertical ascendente	Filtro lento areia	Filtro lento areia-cagi	Filtro lento areia-cag
25	7,4	7,5	7,7	7,6	7,6	7,6
28	7,9	7,8	7,7	7,7	7,8	7,6
35	7,4	7,4	6,1	7,2	7,4	7,1
44	6,4	6,6	6,7	6,5	6,5	6,4
46	6,1	6,1	6,2	6,2	6,3	6,2
46	7,3	7,5	7,4	7,4	7,4	7,0
49	7,8	7,9	7,6	7,5	7,5	7,0
50	7,4	7,7	7,6	7,8	8,0	7,3
51	7,6	7,9	8,0	8,1	8,1	8,0
52	7,1	7,4	7,4	7,6	7,5	7,2
53	7,3	7,5	7,6	7,7	7,6	7,3
54	7,4	7,7	7,5	7,4	7,5	7,2
55	7,5	7,6	8,0	7,4	7,6	7,1
55	6,3	6,3	6,2	6,7	6,3	6,5
58	6,9	6,9	6,7	7,0	6,7	6,7
Máximo	7,9	7,9	8,0	8,1	8,1	8,0
Mínimo	6,1	6,1	6,1	6,2	6,3	6,2

TABELA C2. 14 B Valores de Oxigênio Dissolvido (mg/L)

Tempo operação (d)	Água bruta	Pré-filtro dinâmico	Pré-filtro vertical ascendente	Filtro lento areia	Filtro lento areia-cagi	Filtro lento areia-cag
4	8,2	7,9	6,8	6,6	7,3	3,4
12	7,8	7,8	7,9	7,4	7,2	2,3
22	8,4	8,0	8,0	7,4	7,6	2,9
33	7,6	7,5	7,7	7,5	7,3	3,0
40	9,0	8,8	8,8	7,8	8,3	3,3
47	9,0	8,8	8,8	8,2	8,4	3,3
61	7,5	7,5	7,6	7,9	8,1	4,9
68	8,2	8,2	8,4	8,1	8,2	5,9
78	8,4	8,5	8,7	8,3	8,5	5,1
85	8,0	7,8	7,8	7,3	7,0	2,8
Máximo	9,0	8,8	8,8	8,3	8,5	5,9
Mínimo	7,5	7,5	6,8	6,6	7,0	2,3

TABELA C2. 15 B Valores de Temperatura (oC)

Tempo de operação (d)	Água bruta	Pré-filtro dinâmico	Pré-filtro vert. ascendente	Filtro lento areia	Filtro lento areia-cagi	Filtro lento areia-cag
1	19,0	18,0	16,0	14,5	16,0	14,5
2	18,5	18,0	16,5	16,9	16,0	16,5
3	17,5	16,5	18,0	15,0	16,0	16,5
4	18,5	18,0	15,5	15,0	19,0	16,0
5	19,0	18,0	17,5	15,0	16,0	14,5
6	19,0	20,0	19,5	17,5	17,0	17,5
7	20,0	18,5	19,5	18,0	18,0	18,0
8	18,0	18,0	18,0	16,5	17,0	17,0
9	19,0	21,5	24,5	25,0	25,0	25,0
10	20,5	21,5	20,5	20,0	21,0	19,5
11	20,5	20,5	19,5	20,0	18,5	19,0
12	19,0	17,0	16,0	14,5	15,0	14,0
13	16,5	16,0	14,5	15,5	14,5	15,0
14	17,0	19,0	18,0	16,5	16,0	17,0
15	19,0	18,0	18,5	18,5	17,0	17,5
16	18,5	18,0	17,5	16,0	15,5	17,0
17	19,0	21,0	20,0	19,5	20,5	18,5
18	20,0	20,0	18,5	19,5	18,5	19,0
19	18,5	20,0	18,0	17,5	18,0	17,5
20	18,0	19,0	16,0	17,5	17,5	17,0
21	19,0	19,0	17,5	18,0	16,5	17,0
23	21,0	20,0	23,0	23,0	24,0	22,0
24	18,0	20,0	19,5	18,0	18,0	19,5
25	20,5	20,5	21,0	21,0	22,0	20,0
26	18,0	18,0	18,0	18,5	17,5	19,0
27	19,0	20,0	20,0	18,5	18,5	20,0
28	20,0	20,5	21,0	20,5	22,5	22,0
29	18,5	19,5	18,0	18,5	18,0	19,5
31	21,0	21,0	22,0	19,5	22,0	20,0
33	20,0	19,0	19,0	20,0	19,0	20,0

TABELA C2. 15 B Valores de Temperatura (oC) –continuação-b

Tempo de operação (d)	Água bruta	Pré-filtro dinâmico	Pré-filtro vert. ascendente	Filtro lento areia	Filtro lento areia-cagi	Filtro lento areia-cag
34	21,0	20,0	20,0	19,5	20,0	20,5
35	18,5	19,0	17,0	17,0	16,0	17,0
36	16,5	15,5	15,0	15,0	14,0	13,5
37	18,0	19,0	17,5	18,0	18,0	18,0
38	17,5	18,0	18,0	16,0	18,0	16,0
39	17,5	19,5	19,5	19,0	18,0	18,0
40	19,0	19,0	18,0	19,0	18,0	19,0
41	17,0	17,5	19,5	19,0	18,0	19,0
42	19,0	21,0	20,0	20,0	19,0	14,0
43	18,5	17,0	18,0	17,0	18,0	17,5
45	19,5	19,0	19,5	18,5	17,5	18,0
46	18,0	18,5	18,5	17,5	18,0	17,5
47	18,5	20,0	18,5	19,0	19,0	18,0
48	20,0	20,0	18,0	17,0	19,0	18,0
50	19,0	18,0	18,0	17,0	17,5	18,0
51	19,0	21,5	19,5	19,5	20,5	20,0
52	21,0	21,0	25,0	24,5	25,5	23,0
54	19,0	20,0	18,5	18,5	19,0	20,0
55	20,0	19,0	20,0	19,0	20,0	19,0
56	19,0	17,0	18,0	17,0	19,0	17,0
57	18,0	17,0	17,0	14,5	16,5	15,0
58	15,0	17,0	15,5	13,5	13,0	14,5
59	19,0	19,0	19,0	17,0	18,0	17,0
60	18,5	16,0	16,5	16,5	16,0	15,0
61	14,5	13,0	12,5	9,5	9,0	10,5
62	14,0	13,5	14,0	12,5	13,5	11,0
63	15,5	14,5	13,5	12,5	14,0	14,0
64	15,0	15,0	12,5	12,0	11,0	12,5
65	13,0	15,0	12,5	12,5	12,0	11,0
66	17,0	19,0	23,0	24,0	25,0	23,0
67	18,0	15,5	16,0	18,0	18,0	16,0
68	16,0	16,0	13,5	14,0	12,0	12,5
69	18,0	17,0	17,0	14,0	15,0	15,0
70	17,0	18,0	15,5	16,0	14,0	15,0
71	15,0	16,5	14,0	15,0	14,0	14,0
73	18,0	18,0	16,0	18,0	18,0	16,5
74	18,0	21,0	20,0	19,0	21,0	19,0
75	13,0	18,0	17,0	18,0	17,5	17,0
76	18,0	19,0	17,5	19,0	17,5	18,0
77	19,0	17,5	18,0	17,5	18,0	17,5
78	18,5	19,5	18,0	19,0	19,0	19,0
79	19,0	20,0	18,0	18,0	19,0	19,0
80	17,0	15,0	12,0	13,0	11,5	12,0
81	19,0	20,5	23,0	23,5	23,0	24,5
82	20,0	20,0	19,0	19,5	19,5	20,0

TABELA C2. 15 B Valores de Temperatura (oC) –continuação-c

Tempo de operação (d)	Água bruta	Pré-filtro dinâmico	Pré-filtro vert. ascendente	Filtro lento areia	Filtro lento areia-cagi	Filtro lento areia-cag
83	21,0	21,5	21,5	21,0	20,0	21,0
84	21,0	22,5	22,5	21,5	22,5	21,0
85	19,0	20,0	20,0	21,0	19,0	20,0
86	19,0	17,0	18,0	17,0	16,0	18,0
87	17,0	18,0	14,5	15,0	12,5	15,0
88	19,0	18,5	17,0	15,0	15,0	15,5
89	18,0	20,0	18,0	18,0	18,0	18,0
Máximo	21,0	22,5	25,0	25,0	25,5	25,0
Mínimo	13,0	13,0	12,0	9,5	9,0	10,5

TABELA C2. 16 B Valores de Sólidos Suspensos Totais (mg/L) e de Eficiência (%)

Tempo de operação (d)	Água bruta	Pré-filtro dinâmico	Pré-filtro vertical ascendente	Filtro lento areia	Filtro lento areia-cagi	Filtro lento areia-cag	Eficiência (%)		
							Pré-tratamento	Filtro areia	Filtro areia-cag
2	8,0	3,8	1,5	0,4	0,8	0,5	82	72	67
6	6,7	2,6	0,8	0,0	0,1	0,0	89	100	100
9	8,9	2,7	1,2	0,0	0,0	0,0	86	100	100
13	5,0	2,0	0,7	0,0	0,0	0,0	87	100	100
16	4,9	2,4	1,4	0,2	0,5	0,3	71	86	76
20	6,1	1,5	0,7	0,2	0,1	0,0	88	79	94
23	6,3	2,9	1,0	0,1	0,2	0,2	84	87	78
27	6,8	3,8	1,0	0,1	0,5	0,1	85	87	89
30	6,1	2,2	0,9	0,3	0,5	0,3	85	70	72
34	6,8	2,6	1,7	0,2	0,3	0,1	75	89	94
41	7,2	2,5	1,3	0,1	0,1	0,0	82	95	97
44	8,9	3,9	1,4	0,1	0,5	0,2	84	95	88
51	1,9	1,6	1,0	0,0	0,2	0,1	46	98	94
55	7,9	4,4	1,3	0,2	0,6	0,3	84	83	76
62	11,0	3,9	1,3	0,1	0,0	0,2	88	96	87
69	8,0	5,3	1,9	0,2	0,7	0,3	76	87	86
72	5,1	1,6	0,5	0,0	0,0	0,1	91	95	81
76	7,5	4,0	1,5	0,1	0,3	0,3	80	94	78
79	6,1	1,0	0,7	0,0	0,2	0,1	89	94	88
Máximo	11,0	5,3	1,9	0,4	0,8	0,5	91	100	100
Mínimo	1,9	1,0	0,5	0,0	1,0	0,0	46	70	67

TABELA C2. 17 B Valores de Condutividade ($\mu\text{S/cm}$) e de Eficiência (%)

Tempo de operação (d)	Água bruta	Pré-filtro dinâmico	Pré-filtro vertical ascendente	Filtro lento areia	Filtro lento areia-cagi	Filtro lento areia-cag	Eficiência (%)		
							Pré- tratamento	Filtro areia	Filtro areia-cag
10	15,9	15,3	15,4	16,0	15,4	14,3	3	<0	7
13	15,9	15,2	15,2	14,9	14,9	13,9	4	2	9
17	13,8	14,5	14,8	15,2	14,9	12,9	<0	<0	13
20	14,1	14,4	14,7	15,2	15,1	13,8	<0	<0	6
24	15,4	15,7	15,8	16,1	16,1	14,4	<0	<0	9
27	13,9	15,3	15,8	16,3	16,2	14,4	<0	<0	9
31	16,3	16,3	15,8	15,9	15,8	14,3	3	0	10
38	15,7	15,0	15,7	15,8	15,7	14,4	0	<0	8
45	15,3	15,2	15,7	16,1	16,0	14,9	<0	<0	5
52	16,3	16,2	16,2	16,3	16,4	15,2	1	<0	6
59	15,5	15,9	16,2	16,2	16,3	14,9	<0	0	8
66	22,8	22,2	22,5	21,6	22,2	14,8	1	4	34
69	17,7	18,0	18,2	18,5	18,3	17,8	<0	<0	2
73	22,7	22,7	22,3	16,3	21,3	15,6	2	27	30
76	19,7	18,5	18,7	19,6	18,4	17,4	5	<0	7
80	18,1	18,8	18,5	17,5	18,3	16,3	<0	5	12
83	17,6	17,6	17,8	17,4	17,8	16,1	<0	2	9
90	18,1	17,7	17,6	17,6	17,6	17,1	3	0	3
Maximo	22,8	22,7	22,5	21,6	22,2	17,8	5	27	34
Mínimo	13,8	14,4	14,7	14,9	14,9	12,9	<0	<0	2

TBELA C2. 18 B Valores de Perda de Carga (cm)

Tempo de operação (d)	Filtro lento	
	areia	areia-cag
5	9,0	4,2
6	25,8	14,8
8	45,7	25,5
12	45,7	22,0
14	54,5	32,2
15	36,4	23,5
16	37,0	23,4
17	41,2	27,9
20	27,2	21,1
23	21,9	22,0
27	9,4	22,0
32	7,8	7,5
38	9,5	8,2
41	11,8	8,2
48	13,3	8,2
52	16,7	8,3
56	21,3	9,9
60	26,8	11,8
64	52,5	20,5
68	40,5	21,5
71	53,3	27,5
74	63,6	33,0
78	66,9	35,7
82	70,3	37,6
84	72,7	40,5
87	77,0	37,5
88	78,5	42,0
91	82,5	46,7

ANEXO C - Valores dos parâmetros medidos na Carreira 3

TABELA C3. 1 C Valores de Absorvância – 254 nm (cm⁻¹) e de Eficiência (%)

Tempo de operação (d)	Água bruta	Pré-filtro dinâmico	Pré-filtro vertical ascendente	Filtro lento areia-	Filtro lento areia-	Filtro lento areia-	Eficiência (%)		
							Pré-tratamento	Filtro areia-	Filtro areia-
3	0,23	0,23	0,35	0,21	0,20	0,06	0	40	82
7	0,09	0,09	0,09	0,06	0,09	0,04	0	36	57
11	0,14	0,15	0,15	0,14	0,15	0,06	0	2	56
14	0,08	0,09	0,08	0,08	0,09	0,05	0	1	41
17	0,08	0,08	0,08	0,07	0,08	0,04	10	8	48
21	0,06	0,08	0,07	0,05	0,06	0,03	0	19	54
Máxim	0,23	0,23	0,35	0,21	0,20	0,06	10	40	82
Mínim	0,06	0,08	0,07	0,05	0,06	0,03	0	1	41

TABELA C3. 2 C Valores de Carbono Orgânico Dissolvido Não-Purgável (mg/L) e de Eficiência (%)

Tempo de operação (d)	Água bruta	Pré-filtro dinâmico	Pré-filtro vertical ascendente	Filtro lento areia	Filtro lento areia-cagi	Filtro lento areia-cag	Eficiência (%)		
							Pré-tratamento	Filtro areia	Filtro areia-cag
3	3,51	3,46	2,35	3,80	3,16	1,41	33	0	40
7	5,66	5,69	6,38	4,73	4,69	0,24	0	26	96
11	3,48	2,94	3,13	2,72	2,86	0,92	10	13	71
14	5,73	2,42	2,45	1,48	2,72	1,10	57	40	55
17	2,29	2,28	2,34	1,93	1,93	1,01	0	18	57
21	2,05	2,17	1,64	1,46	1,99	0,49	20	11	70
Máximo	5,73	5,69	6,38	4,73	4,69	1,10	57	40	96
Mínimo	2,05	2,17	1,64	1,46	1,93	0,24	0	11	55

TABELA C3. 3 C Valores de Cor Verdadeira (uH) e de Eficiência (%)

Tempo de operação (d)	Água bruta	Pré-filtro dinâmico	Pré-filtro vertical ascendente	Filtro lento areia	Filtro lento areia-cagi	Filtro lento areia-cag	Eficiência (%)		
							Pré-tratamento	Filtro areia	Filtro areia-cag
7	125	97	77	53	57	44	38	31	43
11	89	90	80	56	65	46	11	30	43
14	70	65	57	32	32	24	18	44	58
17	64	53	43	23	25	16	33	47	63
21	76	69	53	21	27	17	30	60	68
Máximo	125	97	80	56	65	46	38	60	68
Mínimo	64	53	43	21	25	16	11	30	43

TABELA C1. 4 C Valores de Cor Aparente (uH) e de Eficiência (%)

Tempo de operação (d)	Água bruta	Pré-filtro dinâmico	Pré-filtro vertical ascendente	Filtro lento areia	Filtro lento areia-cagi	Filtro lento areia-cag	Eficiência (%)		
							Pré-tratamento	Filtro areia	Filtro areia-cag
3	770	1132	960	432	608	417	0	55	57
7	712	632	552	460	312	404	22	17	27
11	315	258	209	129	146	105	34	38	50
14	257	211	148	66	70	48	42	55	68
17	225	176	118	42	50	32	48	64	73
21	206	150	104	37	41	27	50	64	74
Máximo	770	1132	960	460	608	417	50	64	74
Mínimo	206	150	104	37	41	27	22	17	27

TABELA C3. 5 C Valores de Oxigênio Consumido (mg/L) e de Eficiência (%)

Tempo de operação (d)	Água bruta	Pré-filtro filtro dinâmico	Pré-filtro vertical ascendente	Filtro lento areia	Filtro lento areia-cagi	Filtro lento areia-cag	Eficiência (%)		
							Pré-tratamento	Filtro areia	Filtro areia-cag
3	3,5	2,9	2,7	2,4	2,3	0,8	24	9	72
7	10,4	8,0	7,4	5,4	6,0	2,1	29	27	71
11	5,7	2,1	4,0	4,0	4,0	1,7	29	0	59
14	4,1	1,7	2,7	1,9	2,3	0,6	35	30	79
21	2,4	2,1	1,7	1,1	2,0	1,1	29	35	38
Máximo	10,4	8,0	7,4	5,4	6,0	2,1	35	35	79
Mínimo	2,4	1,7	1,7	1,1	2,0	0,6	29	0	38

TABELA C3. 6 C Valores de Coliformes Totais (NMP/100mL) e de Eficiência (%)

Tempo de operação (d)	Água bruta	Pré-filtro filtro dinâmico	Pré-filtro vertical ascendente	Filtro lento areia	Filtro lento areia-cagi	Filtro lento areia-cag	Eficiência (%)		
							Pré-tratamento	Filtro areia	Filtro areia-cag
3	8450	1904	1414	613	866	37	83,27	56,63	97,35
7	36540	9804	1986	649	1733	435	94,56	67,33	78,09
14	7940	2613	727	49	43	3	90,84	93,30	99,57
21	10860	3620	2520	83	13	1	76,80	96,69	99,96
Máximo	36540	9804	2520	649	1733	435	94,56	96,69	99,96
Mínimo	7940	1904	727	49	13	1	76,80	56,63	78,09

TABELA C3. 7 C Valores de Escherichia Coli (NMP/100mL) e de Eficiência (%)

Tempo de operação (d)	Água bruta	Pré-filtro filtro dinâmico	Pré-filtro vertical ascendente	Filtro lento areia	Filtro lento areia-cagi	Filtro lento areia-cag	Eficiência(%)		
							Pré-tratamento	Filtro areia	Filtro areia-cag
3	310	98	35	0	2	0	88,6	100,0	100,0
7	2180	364	199	23	91	30	90,9	88,4	85,0
14	630	63	22	0	0	0	96,6	100,0	100,0
21	100	134	32	0	1	1	68,2	100,0	96,9
Máximo	2180	364	199	23	91	30	96,6	100,0	100,0
Mínimo	100	63	22	0	0	0	68,2	88,4	85,0

TABELA C3. 8 C Nitrogênio Amoniacal (mg/L) e de Eficiência (%)

Tempo de operação (d)	Água bruta	Pré-filtro filtro dinâmico	Pré-filtro vertical scendenl	Filtro lento areia	Filtro lento areia-cagi	Filtro lento areia-cag	Eficiência (%)		
							Pré-tratamento	Filtro areia	Filtro areia-cag
1	0,24	0,21	0,16	0,13	0,10	0,08	33	19	50
5	0,24	0,23	0,21	0,20	0,18	0,13	13	5	38
12	0,38	0,28	0,26	0,15	0,12	0,09	32	42	65
19	0,25	0,25	0,16	0,08	0,08	0,07	36	50	56
Máximo	0,38	0,28	0,26	0,20	0,18	0,13	36	50	65
Mínimo	0,24	0,21	0,16	0,08	0,08	0,07	13	5	38

TABELA C3. 9 C Valores de Turbidez (uT) e de Eficiência (%)

Tempo de operação (d)	Água	Pré-filtro	Pré-filtro	Filtro	Filtro	Filtro	Eficiência (%)		
	bruta	filtro dinâmico	vertical ascend.	lento areia	areia cagi	areia-cag	Pré- trat.	F. lento areia	F. lento areia-cag
1	29,4	22,4	18,6	11,6	17,3	2,1	37	38	89
2	24,8	17,8	13,7	10,7	15,3	10,5	45	22	23
3	22,1	16,5	13,0	9,8	10,5	9,2	41	25	29
4	112,0	81,3	74,6	133,0	124,0	136,0	33	—	—
5	181,0	103,0	71,3	31,2	35,4	30,4	61	56	57
6	174,0	131,0	81,9	71,3	69,8	61,4	53	13	25
7	152,0	131,0	111,0	58,9	77,7	57,7	27	47	48
8	78,5	64,8	60,0	48,4	54,8	46,8	24	19	22
10	72,3	50,7	31,6	18,4	21,3	17,2	56	42	46
11	33,6	28,6	25,9	17,4	18,9	16,1	23	33	38
12	38,1	27,6	19,8	13,1	12,7	11,2	48	34	43
13	38,9	25,8	18,2	11,5	9,8	7,9	53	37	57
14	34,6	24,9	17,5	8,5	8,1	6,8	49	52	61
15	33,8	19,1	14,9	8,0	8,2	6,3	56	46	58
16	32,5	21,4	14,6	6,7	7,5	5,7	55	54	61
17	29,2	21,5	14,7	5,5	6,8	5,0	50	63	66
18	29,9	21,8	14,7	5,0	6,6	4,4	51	66	70
19	38,3	22,2	14,1	4,5	6,2	3,9	63	68	72
20	33,1	21,6	13,2	5,1	6,7	4,1	60	61	69
21	29,0	20,6	12,9	4,9	5,7	4,9	56	62	62
Máximo	181,0	131,0	111,0	133,0	124,0	136,0	63	68	89
Mínimo	22,1	16,5	12,9	4,5	5,7	2,1	23	13	22
Val. <=5(%)	—	—	—	16	—	32	—	—	—

TABELA C3. 10C Valores de Alcalinidade (mg/L)

Tempo de operação (d)	Água bruta	Pré-filtro dinâmico	Pré-filtro vert. ascend.	Filtro areia	Filtro areia-cagi	Filtro areia-cag
7	4,6	5,1	5,5	6,0	5,1	4,6
14	6,7	6,2	6,4	5,1	6,0	3,7
21	6,4	6,9	6,4	6,0	6,0	3,9
Máximo	6,7	6,9	6,4	6,0	6,0	4,6
Mínimo	4,6	5,1	5,5	5,1	5,1	3,7

TABELA C3. 11C Valores de Valores de pH

Tempo de operação (d)	Água bruta	Pré-filtro filtro dinâmico	Pré-filtro vertical ascendente	Filtro lento areia	Filtro lento areia-cagi	Filtro lento areia-cag
1	6,8	6,6	6,5	6,2	6,0	6,1
2	6,8	6,6	6,5	6,4	6,2	5,9
4	6,7	6,6	6,5	6,4	6,4	6,0
6	7,2	7,0	6,4	6,7	6,4	6,0
7	6,7	6,5	6,4	6,4	6,4	6,0
10	6,7	6,6	6,7	6,4	6,5	6,0
12	6,7	6,5	6,5	6,7	6,5	6,0
13	6,9	6,7	6,7	6,5	6,5	6,0
14	6,8	6,7	6,5	6,4	6,6	6,0
16	6,7	6,6	6,6	6,7	6,6	6,0
17	6,9	6,7	6,6	6,6	6,7	6,0
18	7,2	6,9	6,7	6,6	6,6	6,2
19	6,9	6,7	6,6	6,6	6,6	6,0
20	7,0	6,8	6,7	6,5	6,7	6,0
21	7,1	7,1	7,0	6,8	6,9	6,0
Máximo	7,2	7,1	7,0	6,8	6,9	6,2
Mínimo	6,9	6,7	6,6	6,5	6,6	6,0

TABELA C3. 12C Temperatura (°C)

Tempo de operação (d)	Água bruta	Pré-filtro filtro dinâmico	Pré-filtro vertical ascendente	Filtro lento areia	Filtro lento areia-cagi	Filtro lento areia-cag
1	24,0	26,0	23,5	24,0	25,0	25,0
2	25,0	25,0	23,0	22,5	22,5	22,5
3	25,0	24,0	24,5	24,0	23,5	23,0
4	25,0	24,0	27,0	27,5	25,5	27,0
6	25,5	25,0	26,0	24,0	23,5	24,0
7	24,0	23,0	22,5	22,0	21,5	21,5
8	25,0	24,0	24,5	24,0	24,0	24,0
10	24,5	23,5	24,0	23,0	23,0	23,0
11	23,0	22,0	22,5	23,0	22,0	21,0
12	24,0	26,0	28,0	28,0	26,0	25,5
13	27,0	27,0	28,5	30,5	28,5	28,0
14	24,5	24,0	24,5	25,0	24,0	25,0
15	26,0	26,0	28,0	29,0	28,0	27,5
16	23,5	24,0	23,0	22,5	23,0	23,0
17	23,0	23,0	22,0	20,0	22,0	22,0
18	24,0	24,5	23,5	24,5	25,0	24,5
19	25,0	25,5	25,5	24,5	26,0	26,0
20	26,0	26,0	27,5	26,0	26,0	26,0
21	24,5	24,5	22,5	22,5	23,0	23,0
Máximo	26,0	26,0	27,5	26,0	26,0	26,0
Mínimo	23,0	23,0	22,0	20,0	22,0	22,0

TABELA C.3.13C Valores de Oxigênio Dissolvido (mg/L)

Tempo de operação (d)	Água bruta	Pré-filtro filtro dinâmico	Pré-filtro vertical ascendente	Filtro lento areia	Filtro areia-cag areia-cag
7	7,6	7,4	7,3	7,1	2,0
14	7,2	7,0	7,0	5,8	0,4
21	7,1	6,8	6,8	5,7	2,4
Máximo	7,6	7,4	7,3	7,1	2,4
Mínimo	7,1	6,8	6,8	5,7	0,4

TABELA C.3.14C Valores de Perda de Carga (cm) e de Taxa de Aplicação Superficial (m/d)

Tempo de operação (d)	Perda de carga (cm)	Perda de carga (cm)	Taxa aplic. superficial (m/d)	Taxa aplic. superficial (m/d)
	FLA	FLA-CAG	FLA	FLA-CAG
1	14,20	10,50	1,04	0,70
2	20,20	15,00	2,09	2,09
4	31,50	25,50	3,90	3,56
6	32,00	29,00	4,03	3,78
8	33,00	31,00	3,86	3,74
10	37,4	38,5	3,7	3,8
12	47,2	59,5	4,4	4,4
16	62,5	67,0	3,9	3,7
18	76,5	83,5	3,8	3,7

ANEXO D – Valores dos parâmetros medidos na Carreira 4

TABELA C4. 1D Valores de Turbidez (UT)

Tempo de operação (d)	Água Bruta	Pré- filtro dinâmico	Pré- vertical ascend.	Filtro lento areia	Filtro lento areia-cag	Eficiência (%)			Dose O3 consumida (mg/L)
						Pré- Trat	Filtro areia	Filtro areia-cag	
1	37,4	25,0	23,9	16,7	13,1	36	30	45	—
2	33,0	23,3	15,3	12,6	10,1	54	18	34	—
3	28,5	20,3	15,4	11,6	12,8	46	25	17	—
4	49,2	37,0	34,0	10,7	12,3	31	69	64	—
5	143,0	131,0	108,0	27,3	39,7	24	75	63	—
6	179,0	142,0	87,6	53,4	52,7	51	39	40	—
8	49,5	40,5	33,8	27,3	28,1	32	19	17	—
10	39,5	27,6	21,7	12,5	13,1	45	42	40	—
13	69,0	56,7	53,4	30,4	27,7	23	43	48	—
14	49,6	34,0	26,2	26,6	28,6	47	—	—	—
15	101,0	85,0	56,2	15,9	16,8	44	—	—	—
16	114,0	96,5	79,2	31,5	28,7	31	60	64	—
17	65,5	55,0	55,8	40,5	37,6	15	27	33	—
18	46,5	35,3	28,0	27,7	27,4	40	—	—	—
19	67,4	32,9	22,5	14,0	17,2	67	38	24	—
20	98,8	37,5	26,9	13,6	11,6	73	49	57	—
21	76,0	62,7	46,2	22,3	22,8	39	52	51	—
23	55,2	47,1	38,6	22,4	22,4	30	42	42	—
24	47,7	37,9	31,6	16,3	17,3	34	48	45	—
27	45,5	35,4	25,6	14,5	12,1	44	43	53	—
28	19,9	53,0	51,7	13,7	12,3	—	74	76	—
29	60,4	50,9	40,1	25,9	24,1	34	35	40	—
30	50,4	39,2	27,0	17,9	16,3	46	34	40	—
31	46,8	35,6	22,9	14,0	12,7	51	39	45	—
32	74,6	65,8	43,5	14,3	13,5	42	67	69	—
34	39,2	33,6	24,5	16,2	14,7	38	34	40	—
35	51,1	40,0	25,9	15,2	13,4	49	41	48	—
36	34,1	28,6	20,6	12,9	12,1	40	37	41	—
36	34,9	27,8	19,9	13,5	12,3	43	32	38	—
37	34,1	26,8	18,7	12,0	11,0	45	36	41	—
38	32,1	25,7	17,6	10,3	9,3	45	41	47	—
39	33,0	25,0	17,0	8,6	7,6	48	49	55	1,4
41	31,1	48,4	10,8	5,0	3,9	65	54	64	1,4
43	34,8	26,5	19,2	8,4	7,2	45	56	63	1,4
45	31,7	24,7	16,5	6,7	5,1	48	59	69	1,4
46	27,2	21,9	16,2	6,3	5,4	40	61	67	2,3
47	28,8	22,8	14,6	5,9	4,5	49	60	69	2,5
48	31,3	22,6	13,0	5,5	4,3	58	58	67	2,5
49	31,0	20,8	12,8	4,5	3,6	59	65	72	2,0
50	29,8	22,5	13,3	4,5	3,2	55	66	76	2,0
52	33,1	23,3	13,6	—	2,9	59	—	79	2,1
53	32,2	22,2	12,5	—	2,1	61	—	84	2,2
54	31,3	21,3	13,3	—	3,2	58	—	76	2,2
Máximo	179,0	142,0	108,0	53,4	52,7	73	75	84	2,5
Mínimo	19,9	20,3	10,8	4,5	2,1	15	18	17	1,4

TABELA C4.2D Valores de pH

Tempo de operação (d)	Água bruta	Pré-filtro dinâmico	Pré-filtro vert. ascendente	Jusante coluna	Filtro areia	Filtro cag	O3 (mg/L)
1	6,7	6,7	6,5	—	6,4	6,0	—
2	6,7	6,6	6,3	—	6,3	5,9	—
3	6,8	6,8	6,6	—	6,4	6,1	—
5	6,5	6,6	6,5	—	6,4	6,1	—
6	6,7	6,5	6,5	—	6,4	6,1	—
8	6,8	6,7	6,6	—	6,5	6,1	—
10	6,6	6,7	6,6	—	6,4	6,1	—
13	6,4	6,4	6,4	—	6,3	6,0	—
16	6,9	6,8	6,8	—	6,6	6,2	—
20	6,8	6,8	6,6	—	6,5	6,2	—
23	6,9	6,9	6,8	—	6,8	6,3	—
24	6,9	7,0	6,9	—	6,7	6,1	—
28	7,1	7,1	7,0	—	6,5	6,1	—
30	7,3	7,1	6,9	—	6,8	6,1	—
32	6,8	7,2	7,3	—	7,2	6,0	—
34	7,1	7,1	6,9	—	6,9	6,0	—
36	7,2	7,1	7,0	—	6,7	6,1	—
37	7,1	7,1	7,0	—	6,9	6,1	—
41	7,2	7,1	7,0	7,0	6,8	6,3	1,4
44	7,0	7,0	6,9	6,9	6,7	6,3	1,4
48	7,2	7,2	7,0	6,9	6,8	6,2	2,5
49	7,3	7,2	7,2	6,9	6,9	6,4	2,0
50	7,3	7,1	7,1	6,9	6,7	6,2	2,0
51	7,1	7,1	7,1	6,9	6,7	6,4	2,0
52	7,2	7,1	7,2	7,0	—	6,2	2,1
53	7,2	7,1	7,2	7,0	—	6,2	2,1
54	7,1	7,1	7,1	6,8	—	6,3	2,2
Máximo	7,3	7,2	7,2	7,0	6,9	6,4	2,5
Mínimo	7,0	7,0	6,9	6,8	6,7	6,2	1,4

TABELA C4. 4 D Valores de Perda de Carga (cm) e Taxa de Aplicação Superficial ($\text{m}^3\text{m}^2/\text{d}$)

Tempo de operação (d)	Filtro lento areia		Filtro lento areia-cag		Dose de ozônio consumida (mg/L)
	Perda carga (cm)	Taxa de aplicação superficial ($\text{m}^3/\text{m}^2\text{dia}$)	Perda carga (cm)	Taxa de aplicação superficial ($\text{m}^3/\text{m}^2\text{dia}$)	
1	15,0	1,0	7,8	1,0	—
2	14,2	1,0	7,6	1,0	—
3	17,8	1,0	7,7	1,0	—
5	16,0	1,0	8,3	1,0	—
6	12,8	1,1	7,3	0,8	—
10	11,1	1,0	7,6	0,9	—
13	10,0	1,0	8,5	1,0	—
17	10,3	1,0	10,0	1,0	—
20	9,1	0,9	8,6	0,7	—
21	14,2	1,7	14,8	1,7	—
23	13,9	1,4	14,1	1,4	—
24	7,6	0,6	9,2	0,7	—
27	15,4	1,6	14,5	1,4	—
29	20,3	2,4	20,0	2,2	—
32	20,0	2,2	20,7	2,4	—
34	20,0	2,2	20,0	2,3	—
35	21,0	2,7	21,7	2,5	—
36	33,5	4,2	32,3	4,4	—
37	33,5	3,7	34,0	4,1	—
38	35,2	3,9	33,0	3,9	—
39	43,2	3,9	40,0	3,9	1,4
41	24,0	1,4	23,7	1,4	1,4
44	53,2	3,9	48,4	3,7	1,4
48	84,9	3,9	67,7	3,7	2,5
49	95,5	3,7	74,5	3,7	2,0
51	100,0	—	98,0	3,6	2,2
52	100,0	—	93,5	3,6	2,1

ANEXO E - Valores dos parâmetros medidos na Carreira 5

TABELA C5.1E Valores de Absorvância – UV-254 nm (cm⁻¹) e de Eficiência (%)

Tempo operação (d)	Água bruta	Pré-filtro vertical ascend.	Jusante coluna	Filtro areia cag	Filtro lento areia	Filtro areia cag2	Eficiência (%)				Dose O3 (mg/L)
							Pré- oxid.	F.lento a-cag	F.lento areia	F.lento a-cag-2	
19	0,058	0,077	—	0,050	0,063	0,033	—	35	18	57	—
20	0,057	0,080	—	0,040	0,068	0,034	—	50	15	58	—
23	0,059	0,052	—	0,028	0,044	0,022	—	46	15	58	—
27	0,067	0,060	—	0,036	0,073	0,035	—	40	<0	41	—
30	0,087	0,100	—	0,054	0,094	0,052	—	46	6	48	—
Máximo	0,087	0,100	—	0,054	0,094	0,052	—	50	18	58	—
Mínimo	0,057	0,052	—	0,028	0,044	0,022	—	35	6	41	—
61	0,047	0,050	0,043	0,027	0,029	0,017	14	37	33	60	0,9
63	0,030	0,051	0,036	0,029	0,029	0,013	29	19	19	64	0,9
65	0,064	0,059	0,052	0,033	0,034	0,024	12	37	35	54	0,9
Máximo	0,064	0,059	0,052	0,033	0,034	0,024	29	37	35	64	0,9
Mínimo	0,030	0,050	0,036	0,027	0,029	0,013	12	19	19	54	0,9
68	0,043	0,052	0,048	0,033	0,037	0,023	8	31	23	52	1,6
70	0,063	0,062	0,055	0,032	0,027	0,021	11	42	51	62	1,7
71	0,048	0,047	0,038	0,031	0,030	0,022	19	18	21	42	2,2
37	0,067	0,061	0,054	0,025	0,039	0,021	11	54	28	61	2,2
Máximo	0,067	0,062	0,055	0,033	0,039	0,023	19	54	51	62	2,2
Mínimo	0,043	0,047	0,038	0,025	0,027	0,021	8	18	21	42	1,6
33	0,055	0,059	0,049	0,028	0,041	0,024	17	43	16	51	2,7
58	0,049	0,046	0,038	0,027	0,027	0,014	17	29	29	63	2,8
40	0,073	0,073	0,056	0,033	0,036	0,027	1	41	36	52	2,8
42	0,048	0,054	0,042	0,022	0,029	0,023	22	48	31	45	2,7
44	0,064	0,061	0,048	0,024	0,031	0,021	21	50	35	56	3,1
Máximo	0,073	0,073	0,056	0,033	0,041	0,027	22	50	36	63	3,1
Mínimo	0,048	0,046	0,038	0,022	0,027	0,014	1	29	16	45	2,7
47	0,046	0,048	0,037	0,018	0,023	0,019	23	51	38	49	3,8
50	0,068	0,053	0,046	0,028	0,027	0,022	13	39	41	52	3,8
51	0,056	0,066	0,045	0,020	0,024	0,021	32	56	47	53	3,8
54	0,044	0,046	0,035	0,025	0,023	0,016	24	29	34	54	3,7
Máximo	0,068	0,066	0,046	0,028	0,027	0,022	32	56	47	54	3,8
Mínimo	0,044	0,046	0,035	0,018	0,023	0,016	13	29	34	49	3,7
Máx. oxid.	0,073	0,073	0,056	0,033	0,041	0,027	32	56	51	64	3,8
Mín. oxid.	0,030	0,046	0,035	0,018	0,023	0,013	1	18	16	42	0,9

TABELA C5.2E Valores de Carbono Orgânico Dissolvido Não-Purgável (mg/L) e de Eficiência (%)

Tempo operação (d)	Água bruta	Pré-filtro vertical ascend.	Jusante coluna	Filtro lento areia	F. lento areia cag	F. lento areia cag-2	Eficiência (%)				Dose O3 (mg/L)
							Pré- oxid.	F.lento areia	F. lento areia-cag	F. lento areia-cag	
19	1,5	1,6	—	1,5	1,2	1,2	—	6	26	27	—
20	1,2	2,1	—	1,6	1,6	1,6	—	24	20	24	—
27	1,7	2,0	—	2,5	1,4	1,5	—	0	30	28	—
30	2,1	2,2	—	2,0	0,9	1,2	—	8	58	46	—
Máximo	2,1	2,2	—	2,5	1,6	1,6	—	24	58	46	—
Mínimo	1,2	1,6	—	1,5	0,9	1,2	—	0	20	24	—

TABELA C5.2 Valores de Carbono Orgânico Dissolvido Não-Purgável (mg/L) e de Eficiência (%)

Tempo operação (d)	Água bruta	Pré-filtro vertical ascend.	Jusante coluna	Filtro lento areia	Filtro areia cag	Filtro areia cag-2	Pré- Trat.	Pré- oxid.	Eficiência (%)			Dose O3 (mg/L)	Relação O3/ CODNP
									Filtro areia	Filtro a-cag	Filtro a-cag2		
61	0,9	0,8	0,8	0,6	0,6	0,5	7	8	20	24	39	0,9	1,1
63	0,8	0,8	1,0	0,7	0,5	0,4	1	0	25	48	56	0,9	1,1
65	0,8	0,9	1,1	0,8	0,9	0,5	0	0	26	14	55	0,9	1,0
Máximo	0,9	0,9	1,1	0,8	0,9	0,5	7	8	26	48	56	0,9	1,1
Mínimo	0,8	0,8	0,8	0,6	0,5	0,4	0	0	20	14	39	0,9	1,0
68	0,8	0,9	0,9	1,0	0,7	0,8	0	0	0	20	11	1,6	1,9
70	1,1	0,9	0,9	0,6	0,5	0,5	22	0	29	41	46	1,7	2,0
36	1,4	1,2	1,2	1,0	0,8	0,8	11	0	16	32	36	2,2	1,8
37	1,7	2,0	1,7	1,8	1,5	1,1	0	15	0	11	35	2,2	1,1
Máximo	1,7	2,0	1,7	1,8	1,5	1,1	22	15	29	41	46	2,2	2,0
Mínimo	0,8	0,9	0,9	0,6	0,5	0,5	0	0	0	11	11	1,6	1,1
40	1,7	1,4	1,5	1,2	1,0	1,2	13	<0	20	37	25	2,8	2,0
42	1,5	1,6	1,4	1,3	0,6	1,1	0	13	7	55	20	2,7	1,7
50	1,2	1,2	1,2	1,0	0,8	1,0	7	1	13	34	16	3,8	2,4
44	1,6	1,5	1,4	1,2	0,9	0,7	1	8	15	35	52	3,1	2,0
56	1,2	1,1	1,0	1,0	0,8	0,6	8	8	6	27	45	2,8	2,5
58	1,2	1,3	1,3	1,1	1,0	1,1	0	0	10	25	17	2,8	2,2
Máximo	1,7	1,6	1,5	1,3	1,0	1,2	13	13	20	55	52	3,8	2,5
Mínimo	1,2	1,1	1,0	1,0	0,6	0,6	0	0	6	25	16	2,7	1,7
47	1,2	1,2	1,2	1,4	1,0	0,9	1	2	0	14	20	3,8	3,2
51	0,9	1,0	1,3	0,9	0,6	1,1	0	0	27	49	13	3,8	3,9
Máx.oxid.	1,7	2,0	1,7	1,8	1,5	1,2	22	15	29	55	56	3,8	3,9
Mín. oxid.	0,8	0,8	0,8	0,6	0,5	0,4	0	0	0	11	11	0,9	1,7

TABELA C5.3E Valores de Cor Verdadeira (uH) e de Eficiência (%)

Tempo operação (d)	Água bruta	Pré-filtro vertical ascendente	Filtro lento areia	Filtro lento reia-ca	F. lento areia cag-2	Eficiência (%)			Dose O3 (mg/L)
						F. lento areia	F. lento areia-cag	Filtro lento areia-cag2	
19	53	—	29	23	22	—	—	—	—
20	—	26	19	21	16	27	19	38	—
21	46	26	19	16	21	27	38	19	—
22	43	—	13	15	10	—	—	—	—
23	47	30	18	17	13	40	43	57	—
25	45	31	18	22	14	42	29	55	—
26	79	59	38	35	35	36	41	41	—
27	54	35	31	34	34	11	3	3	—
28	45	28	17	24	14	39	14	50	—
30	56	42	30	41	24	29	2	43	—
31	45	36	24	27	20	33	25	44	—
Máximo	79	59	38	41	35	42	43	57	—
Mínimo	43	26	13	15	10	11	2	3	—

TABELA C5.3E Valores de Cor Verdadeira (uH) e de Eficiência (%) - continuação

Tempo operação (d)	Água bruta	Pré-filtro vertical ascend.	Jusante coluna	Filtro lento areia	Filtro areia cag	F. lento areia cag-2	Eficiência (%)					Dose O3 (mg/L)
							Pré- Trat.	Pré- oxid.	F. lento areia	F. lento a-cag	F. lento a-cag2	
58	44	22	15	14	12	7	50	32	7	20	53	0,9
59	40	35	33	17	17	13	13	6	48	48	61	0,9
60	40	29	22	17	14	13	28	24	23	36	41	0,9
61	55	35	20	15	11	8	36	43	25	45	60	0,9
62	38	29	19	15	10	8	24	34	21	47	58	0,9
63	54	54	43	37	31	20	14	20	14	28	53	0,9
65	45	34	30	19	18	15	24	12	37	40	50	0,9
66	36	26	21	17	14	12	28	19	19	33	43	0,9
67	35	25	19	12	12	3	29	24	37	37	84	0,9
Máximo	55	54	43	37	31	20	50	43	48	48	84	0,9
Mínimo	35	22	15	12	10	3	13	6	7	20	41	0,9
35	66	42	38	17	21	15	36	10	55	45	61	2,2
37	32	26	26	19	16	17	19	0	27	38	35	2,2
40	65	30	24	17	14	13	54	20	29	42	46	1,8
68	55	38	35	25	28	16	31	8	29	20	54	1,6
69	37	25	19	15	11	8	32	24	21	42	58	1,7
70	52	34	21	14	14	17	35	38	33	33	19	1,8
71	28	24	24	10	9	10	14	0	58	63	58	2,2
Máximo	66	42	38	25	28	17	54	38	58	63	61	2,2
Mínimo	28	24	19	10	9	8	14	0	<0	20	19	1,6
33	39	27	20	14	18	14	31	26	30	10	30	3,0
34	66	30	24	12	19	13	55	20	50	21	46	2,9
38	39	22	14	9	11	8	44	36	36	21	43	2,8
39	41	24	17	9	12	10	41	29	47	29	41	2,8
41	73	51	43	35	36	35	30	16	19	16	19	2,7
42	47	38	30	11	14	16	19	21	63	53	47	2,7
44	50	22	17	4	8	7	56	23	76	53	59	2,9
45	47	41	28	18	22	21	13	32	36	21	25	2,9
46	62	36	29	20	23	22	42	19	31	21	24	2,9
47	37	31	23	8	11	13	16	26	65	52	43	2,9
49	40	25	23	18	14	11	38	8	22	39	52	2,5
50	45	24	17	12	8	9	47	29	29	53	47	2,5
51	49	24	19	14	14	9	51	21	26	26	53	2,5
52	38	19	15	10	8	9	50	21	33	47	40	2,5
Máximo	73	51	43	35	36	35	56	36	76	53	59	3,0
Mínimo	37	19	14	4	8	7	13	8	19	10	19	2,5
54	50	30	20	15	9	9	40	33	25	55	55	3,7
55	62	34	22	21	19	19	45	35	5	14	14	3,7
Máx. oxid.	73	54	43	37	36	35	56	43	76	63	84	3,7
Mín. oxid.	28	19	14	4	8	3	13	0	5	10	14	0,9

TABELA C5.4E Valores de Cor Aparente (uH) e de Eficiência (%)

Tempo operação (d)	Água bruta	Pré-filtro vertical ascend.	Jusante coluna	Filtro areia	Filtro areia cag	F. lento areia cag-2	Eficiência (%)					Dose O3 (mg/L)
							Pré- Trat.	Pré- oxid.	F. lento areia	F. lento a-cag	F. lento a-cag2	
19	133	—	—	46	49	39	—	—	34	30	41	—
20	—	70	—	46	49	41	—	—	34	30	41	—
21	156	60	—	37	42	30	—	—	38	30	50	—
22	152	—	—	28	38	22	—	—	—	—	—	—
23	150	64	—	29	38	21	57	—	55	41	67	—
25	150	95	—	49	52	42	37	—	48	45	56	—
26	271	167	—	84	83	72	38	—	50	50	57	—
27	158	99	—	60	68	68	37	—	39	31	31	—
28	142	82	—	38	51	33	42	—	54	38	60	—
Máximo	271	167	—	84	83	72	38	0	55	50	67	—
Mínimo	133	60	—	28	38	21	55	0	34	30	31	—
59	121	88	70	34	27	26	27	20	51	61	63	0,9
60	117	89	72	38	29	22	24	19	47	60	69	0,9
61	146	89	70	35	29	21	39	21	50	59	70	0,9
62	122	80	63	38	30	24	34	21	40	52	62	0,9
63	139	87	76	45	35	22	37	13	41	54	71	0,9
65	134	75	68	41	34	27	44	9	40	50	60	0,9
66	102	67	56	32	27	17	34	16	43	52	70	0,9
67	105	63	54	28	27	8	40	14	48	50	85	0,8
Máximo	146	89	76	45	35	27	44	21	51	61	85	0,9
Mínimo	102	63	54	28	27	8	24	9	40	50	60	0,8
68	119	70	58	37	35	21	41	17	36	40	64	1,6
69	129	62	50	26	25	13	52	19	48	50	74	1,7
70	185	89	75	33	28	24	52	16	56	63	68	1,8
71	134	77	61	39	32	27	43	21	36	48	56	2,2
35	148	84	75	35	47	38	43	11	53	37	49	2,2
37	133	82	73	25	31	25	38	11	66	58	66	2,2
39	162	68	57	25	33	25	58	16	56	42	56	1,8
40	178	76	60	30	35	36	57	21	50	42	40	1,8
Máximo	185	89	75	39	47	38	58	21	66	63	74	2,2
Mínimo	119	62	50	25	25	13	38	11	36	37	40	1,6
30	177	118	—	68	86	61	33	—	42	—	—	3,3
31	142	83	80	40	58	40	42	4	50	28	50	3,0
32	132	75	71	36	45	31	43	5	49	37	56	3,0
33	141	66	61	26	37	26	53	8	57	39	57	3,0
34	136	72	72	32	42	32	47	0	56	42	56	2,9
41	156	65	50	22	27	26	58	23	56	46	48	2,8
42	121	65	51	21	25	25	46	22	59	51	51	2,8
38	132	58	47	20	25	20	56	19	57	47	57	2,8
44	129	62	47	16	17	22	52	24	66	64	53	2,9
45	131	58	44	17	18	23	56	24	61	59	48	2,9
46	131	57	47	17	20	22	56	18	64	57	53	2,9
49	137	63	53	33	28	29	54	16	38	47	45	2,5
51	156	58	46	29	22	24	63	21	37	52	48	2,5
52	114	51	40	25	20	20	55	22	38	50	50	2,5
58	135	52	42	28	23	16	61	19	33	45	62	2,8
Máximo	177	118	80	68	86	61	63	24	66	64	62	3,3
Mínimo	114	51	40	16	17	16	33	0	33	28	45	2,5
43	139	65	53	21	24	26	53	18	60	55	51	3,5
55	133	49	37	24	21	17	63	24	35	43	54	3,7
Máx. oxid.	185	118	80	68	86	61	63	24	66	64	85	3,7
Mín. oxid.	102	49	37	16	17	8	24	0	33	28	40	0,8

TABELA C5.5E Valores de Turbidez (UT) e de Eficiência (%)

Tempo operação (d)	Água bruta	Montante coluna	Jusante coluna	Filtro	Filtro	Filtro	Eficiência (%)				Dose O3 (mg/L)
				areia	lento	areia	Pré- trat.	Pré- oxid.	F.lento	F.lento	
				areia	areia-cag	cag2			areia	areia-ca	
1	27,5	13,9	—	13,4	9,2	1,0	49	—	4	34	—
2	20,7	10,9	—	10,8	7,5	2,0	47	—	1	31	—
3	21,9	10,2	—	9,4	7,7	1,4	53	—	8	25	—
5	21,1	11,8	—	8,4	8,2	3,3	44	—	29	31	—
6	24,1	9,4	—	7,7	6,8	3,8	61	—	17	27	—
7	20,4	9,8	—	8,1	6,0	3,7	52	—	17	39	—
9	19,4	10,0	—	7,3	6,4	5,4	49	—	27	36	—
10	22,6	10,3	—	7,8	6,5	5,7	54	—	24	37	—
11	22,0	9,2	—	6,9	6,6	5,1	58	—	25	29	—
12	21,1	9,7	—	6,8	6,6	5,0	54	—	30	32	—
13	20,8	9,3	—	6,9	6,7	5,4	55	—	26	28	—
14	22,0	9,4	—	6,1	5,6	4,7	57	—	35	41	—
15	21,5	9,3	—	5,8	5,4	4,3	57	—	37	42	—
16	20,3	8,7	—	6,3	6,1	5,1	57	—	27	29	—
17	21,3	9,1	—	6,7	6,4	5,5	57	—	27	30	—
18	19,6	8,2	—	6,9	6,6	6,1	58	—	16	20	—
19	17,5	8,1	—	6,0	5,8	5,3	54	—	25	28	—
20	17,8	8,0	—	5,5	5,2	4,9	55	—	31	35	—
21	18,7	7,3	—	4,9	5,3	3,8	61	—	33	28	—
22	19,8	7,2	—	4,3	3,9	3,0	64	—	40	46	—
23	19,0	8,1	—	4,6	4,0	3,0	57	—	43	50	—
24	18,6	8,1	—	4,7	4,5	3,6	56	—	42	45	—
25	18,5	11,1	—	6,6	6,6	5,6	40	—	41	41	—
26	34,4	18,2	—	9,7	10,1	9,1	47	—	47	45	—
27	21,3	12,3	—	9,0	8,4	7,9	42	—	27	31	—
28	20,3	10,4	—	7,3	5,4	5,7	49	—	30	48	—
29	30,5	14,9	—	8,3	6,5	6,2	51	—	44	57	—
30	23,0	14,5	—	11,2	9,6	9,0	37	—	—	—	—
31	19,4	10,9	—	7,7	6,2	6,4	44	—	30	43	—
32	16,2	9,2	—	6,3	5,1	4,7	44	—	31	44	—
Máximo	34,4	18,2	0,0	13,4	10,1	9,1	64	—	47	57	—
Mínimo	17,5	7,2	0,0	4,3	3,9	1,0	40	—	1	20	—
33	18,60	8,51	8,50	5,22	3,79	3,64	54	0	39	55	2,7
34	18,00	8,15	7,87	5,05	3,76	3,87	55	3	36	52	2,2
35	16,70	8,29	8,06	4,71	3,67	3,15	50	3	42	54	2,2
36	16,30	9,18	—	6,13	3,35	3,96	44	—	—	—	2,2
37	22,50	9,10	8,79	5,27	4,30	3,72	60	3	40	51	1,2
38	19,20	8,21	7,71	4,30	3,57	3,45	57	6	44	54	2,8
39	21,30	8,80	8,72	4,47	3,55	3,72	59	1	49	59	2,8
40	17,60	9,34	8,70	4,53	4,08	4,44	47	7	48	53	2,8
41	18,80	8,37	7,70	4,64	4,11	4,93	55	8	40	47	2,7
42	16,80	8,60	7,78	4,03	3,39	3,89	49	10	48	56	2,7
43	16,30	8,67	7,91	3,22	2,73	3,84	47	9	59	65	3,1
44	17,20	8,22	7,79	3,59	3,32	3,60	52	5	54	57	3,1
45	16,50	7,67	7,11	3,43	3,28	3,64	54	7	52	54	3,8

TABELA C5.5E Valores de Turbidez (UT) e de Redução (%) - continuação

Tempo operação (d)	Água bruta	Pré-filtro vertical ascendente	Jusante coluna	litro ler areia	Filtro lento areia-caga	litro ler lento eia-cata	Redução (%)				F.lento areia	F.lento areia-ca	Dose O3 (mg/L)
46	15,9	6,9	6,4	3,3	3,4	4,2	56	7	48	47	3,8		
47	15,4	7,9	7,1	3,3	2,9	4,0	49	10	54	60	3,8		
48	19,5	7,7	6,9	3,5	3,1	3,9	61	10	49	55	3,8		
49	16,9	7,7	7,3	3,4	4,3	3,3	55	5	53	42	3,8		
50	16,3	7,0	6,8	2,8	3,6	3,1	57	3	59	47	3,8		
51	20,0	7,2	7,1	3,2	3,9	3,3	64	2	55	44	3,8		
52	14,7	6,5	6,2	3,1	4,0	3,3	56	5	50	35	3,7		
53	16,7	8,1	7,4	3,3	3,4	3,2	51	9	55	54	3,7		
54	17,9	7,2	6,7	3,5	4,5	3,3	60	7	49	33	3,7		
55	16,8	6,7	6,3	3,7	4,4	3,1	60	6	42	31	2,8		
56	15,9	7,3	6,9	3,6	4,2	2,8	54	6	48	38	2,8		
57	17,8	6,9	5,9	3,4	4,1	2,3	61	14	43	30	2,8		
58	17,5	6,9	6,3	3,4	4,1	2,3	61	9	46	35	2,8		
59	16,1	11,5	10,5	4,5	5,9	3,7	29	9	57	43	0,9		
60	16,0	11,6	11,4	4,7	6,1	3,6	28	2	59	47	0,9		
61	18,2	10,8	10,1	4,3	5,7	3,0	41	6	57	44	0,9		
62	16,8	10,4	9,6	4,8	6,1	3,7	38	8	49	36	0,9		
66	13,6	8,4	8,4	4,1	5,7	2,8	39	<0	51	32	0,9		
67	16,2	8,3	9,0	4,2	4,4	1,4	49	<0	53	52	0,8		
68	16,1	7,7	7,3	4,1	4,4	2,4	52	5	44	40	1,6		
69	16,3	8,1	8,0	4,2	4,2	2,4	51	1	48	47	1,7		
70	24,8	11,6	10,9	4,3	5,1	3,6	53	6	60	53	1,7		
71	16,5	9,2	8,6	4,8	5,8	4,2	44	6	44	32	2,2		
72	15,8	8,0	8,2	3,8	5,0	3,6	50	<0	54	39			
Máximo	34,4	18,2	11,4	13,4	10,1	9,1	64	14	60	65	3,8		
Mínimo	13,6	6,5	0,0	2,8	2,7	1,0	28	<0	1	20	0,8		

TABELA C5.6 Valores de pH

Tempo operação (d)	Água bruta	Pré-filtro vertical ascendente	Montante coluna	Filtro lento areia	Filtro lento areia-cag	Filtro lento areia cag-2	Dose O3 (mg/L)
2	8,1	7,9	7,7	7,5	60,8	7,5	—
3	7,2	7,1	7,0	6,7	5,9	7,0	—
5	7,0	7,0	7,0	7,0	6,2	7,0	—
6	7,4	7,5	7,3	7,1	6,3	7,2	—
7	7,4	7,4	6,9	7,0	6,2	6,9	—
9	6,7	7,0	7,1	7,0	6,5	7,1	—
10	7,2	7,2	7,2	6,9	6,0	6,8	—
11	7,0	7,0	7,6	8,1	7,3	8,4	—
12	7,8	7,0	7,0	7,6	7,0	7,7	—
13	6,9	6,8	6,6	6,8	6,0	6,6	—
14	6,8	7,2	7,2	7,0	6,5	7,1	—
15	7,0	7,0	7,0	6,9	6,2	7,0	—

TABELA C5.6 Valores de pH – continuação

Tempo operação (d)	Água bruta	Pré-filtro vertical ascendente	Montante coluna	Jusante coluna	Filtro lento areia	Filtro lento areia-cag	Filtro lento areia cag-2	Dose O3 (mg/L)
16	6,7	7,0	7,1	—	7,0	6,5	7,1	—
17	7,7	7,9	8,6	—	7,0	6,5	6,8	—
18	7,7	8,1	8,3	—	6,9	6,5	6,8	—
19	7,4	7,5	7,5	—	8,4	7,9	8,8	—
20	7,1	7,1	6,9	—	7,0	6,6	7,0	—
21	7,5	7,7	8,0	—	7,0	6,5	7,0	—
22	7,4	7,6	7,8	—	7,3	7,1	7,3	—
23	6,7	7,1	7,1	—	7,1	6,7	7,4	—
24	6,7	7,0	7,1	—	7,1	6,3	7,5	—
25	7,1	7,3	7,3	—	7,2	6,4	7,2	—
26	7,0	7,1	7,2	—	6,7	6,1	7,0	—
27	6,8	7,0	6,8	—	6,6	6,2	7,2	—
28	7,3	7,3	7,2	—	7,0	6,3	7,5	—
29	7,3	7,3	7,2	—	7,3	6,3	7,3	—
30	6,3	6,5	6,6	—	6,6	6,3	7,1	—
31	6,8	7,0	6,8	7,0	6,7	6,4	7,2	—
32	6,4	6,6	6,7	6,9	6,8	6,5	7,2	2,7
33	6,8	6,9	6,9	6,8	6,8	6,5	6,9	2,7
34	6,4	7,1	7,0	7,1	6,7	6,2	7,1	2,9
35	7,0	7,1	7,1	7,2	6,7	6,1	7,0	2,2
37	6,8	7,0	7,1	7,3	7,1	6,6	7,2	2,2
38	6,6	6,9	7,1	7,1	7,0	6,5	7,1	2,8
39	6,9	7,1	7,1	7,2	7,1	6,6	7,1	2,8
40	7,0	7,0	6,9	6,8	6,8	6,3	6,6	2,8
41	7,2	7,3	7,2	7,1	6,8	6,1	7,0	2,7
42	7,0	7,2	7,1	7,0	6,9	6,2	6,8	2,7
43	7,4	7,2	7,3	7,3	7,2	6,2	6,7	3,7
44	6,9	7,1	7,2	7,2	7,1	6,4	6,9	3,1
45	7,0	7,2	7,2	7,2	7,1	6,4	6,9	3,1
46	7,2	7,2	7,1	7,0	6,9	6,1	6,6	9,5
47	7,2	7,2	7,1	6,9	6,9	6,1	6,5	9,5
48	7,3	7,2	7,1	7,0	6,9	6,0	6,8	9,5
49	6,8	7,0	6,9	7,1	7,1	6,2	6,9	3,8
50	6,9	7,0	7,0	6,8	6,9	6,2	6,6	6,4
51	7,0	7,1	7,1	7,1	7,0	6,3	6,9	6,4
52	6,8	6,9	7,0	6,9	6,7	6,2	6,7	6,4
53	7,0	7,0	8,0	6,9	6,8	6,0	6,7	6,4
54	6,9	6,9	6,9	6,7	6,8	6,1	6,5	3,7
55	7,0	7,0	7,0	6,8	6,7	6,1	6,6	3,7
56	6,7	6,9	6,9	7,0	6,7	6,0	6,6	2,4
57	7,1	7,0	7,0	6,8	6,7	6,1	6,5	2,7
58	6,8	6,9	6,9	6,8	6,7	6,0	6,6	2,8
59	7,0	7,0	7,1	6,9	7,0	6,2	6,6	0,9
60	6,7	6,9	7,0	7,0	6,7	6,0	6,6	0,9

TABELA C5.6 Valores de pH – continuação

Tempo operação (d)	Água bruta	Pré-filtro vertical ascendente	Montante coluna	Jusante coluna	Filtro lento areia	Filtro lento areia-cag	Filtro lento areia cag-2	Dose O3 (mg/L)
61	6,9	7,0	6,9	6,8	6,8	6,0	6,5	0,9
62	6,9	7,0	7,0	6,8	6,7	6,0	6,7	0,9
63	6,8	6,9	6,7	7,0	6,7	5,6	6,6	0,9
64	6,9	6,8	6,9	6,8	6,7	6,3	6,7	0,9
65	6,6	6,9	6,9	6,9	6,8	6,5	6,8	—
66	7,0	7,0	6,9	7,0	6,6	5,9	7,3	0,9
67	6,9	7,1	7,0	7,3	6,7	5,9	6,8	0,8
68	6,9	6,9	6,9	6,9	6,8	6,1	6,6	1,6
69	6,8	6,8	7,1	7,4	6,8	6,2	6,8	1,7
70	6,9	7,0	7,2	7,2	7,0	6,7	6,9	1,7
71	6,8	6,9	6,9	6,7	6,7	6,3	6,7	2,2
72	6,7	7,0	6,9	6,9	6,7	6,6	6,9	—
Máximo	8,1	8,1	8,6	7,4	8,4	60,8	8,8	9,5
Mínimo	6,3	6,5	6,6	6,7	6,6	5,6	6,5	0,8

TABELA C5.7 E Valores de Temperatura (oC)

Tempo operação (d)	Água bruta	Montante coluna	Jusante coluna	Filtro lento areia	Filtro lento areia-cag	Filtro areia cag-2
2	24,5	28,0	—	28,5	29,0	28,5
3	24,0	27,0	—	29,0	29,0	28,5
5	23,0	22,5	—	22,0	22,5	22,5
6	24,0	24,0	—	25,5	25,5	25,5
7	23,0	23,0	—	24,5	24,0	24,0
9	22,0	23,0	—	23,0	23,0	23,0
10	23,0	24,0	—	24,5	25,0	24,5
11	23,5	24,0	—	25,5	24,0	24,5
12	23,0	22,0	—	22,0	22,0	22,0
13	23,0	23,5	—	24,0	24,0	23,0
14	23,0	23,0	—	24,0	24,0	24,0
15	22,0	22,0	—	23,0	23,0	23,0
16	22,0	23,0	—	22,5	22,5	22,5
17	19,0	18,5	—	19,0	18,0	18,5
18	20,0	19,0	20,5	18,0	17,5	17,5
19	16,0	15,0	16,0	15,0	15,0	14,5
20	17,0	16,5	17,0	16,0	16,0	16,0
21	19,0	18,5	19,0	18,0	17,0	18,0
22	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0
23	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0
24	21,0	21,0	21,0	20,0	20,0	20,0
25	21,0	20,0	21,0	20,0	19,5	20,0

TABELA C5.7E Valores de Temperatura (oC)

Tempo operação (d)	Água bruta	Montante coluna	Jusante coluna	Filtro lento areia	Filtro lento areia-cag	Filtro lento areia cag-2
26	18,0	17,0	18,0	17,0	17,0	16,5
27	14,0	16,0	16,5	15,0	15,0	15,0
28	19,0	20,0	20,0	19,0	19,0	19,0
29	18,0	18,0	18,0	17,0	17,0	17,0
30	16,0	13,0	13,0	12,0	12,0	12,0
31	16,0	15,0	15,5	15,0	15,0	15,0
32	17,0	16,0	17,0	16,0	16,0	15,5
33	17,5	17,0	18,0	17,5	17,0	17,0
34	18,0	18,0	18,0	18,0	17,0	17,0
35	19,0	18,0	19,0	18,0	18,0	18,0
36	19,0	18,0	—	18,0	17,5	17,5
37	22,0	23,0	25,0	23,0	23,0	23,0
38	20,0	19,0	20,0	19,0	19,0	19,0
39	21,0	20,0	21,0	20,0	20,0	20,0
40	20,0	19,0	20,0	19,0	19,0	19,0
41	22,0	21,5	22,0	21,0	21,0	21,0
46	21,0	21,0	22,0	21,0	21,0	21,0
47	21,0	21,0	21,0	21,0	21,5	21,0
48	21,0	21,0	22,0	21,0	21,0	21,0
49	20,0	19,0	20,0	20,0	19,0	20,0
50	20,5	19,5	20,0	20,0	20,0	19,5
51	22,0	23,0	24,0	23,0	23,0	22,5
52	20,5	20,5	21,0	18,5	20,0	20,0
53	22,0	23,0	23,0	22,5	22,0	22,5
54	20,5	21,0	21,0	19,5	19,5	19,5
55	20,0	19,0	20,0	19,0	18,5	19,0
56	19,5	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0
57	20,0	19,0	20,5	19,5	19,0	19,5
58	19,5	19,5	20,5	19,0	19,0	19,0
59	20,0	20,0	21,5	20,0	20,0	20,0
60	20,0	19,0	20,5	20,0	20,0	19,5
61	20,0	20,0	21,0	20,5	202,0	20,0
62	18,0	17,0	17,5	16,0	16,0	16,0
63	18,5	17,0	17,5	17,0	17,0	17,0
64	15,0	13,0	10,0	11,0	11,5	11,5
65	14,0	13,0	13,0	12,0	12,0	12,0
66	17,0	16,5	17,0	16,5	16,5	16,5
67	20,0	22,0	24,0	23,0	23,5	23,0
68	19,0	19,0	20,0	19,5	19,5	19,5
69	19,5	19,5	20,0	20,0	20,0	20,0
70	15,0	13,0	13,5	12,0	12,5	12,0
Máximo	24,5	28,0	25,0	29,0	202,0	28,5
Mínimo	14,0	13,0	10,0	11,0	11,5	11,5

TABELA C5.8E Valores de Perda de Carga (cm) e de Taxa de Aplicação Superficial (m³/m²d)

Tempo de operação (d)	PERDA DE CARGA			TAXA APLIC. SUPERFICIAL			Dose Ozônio consumido (mg/L)
	Filtro lento areia	Filtro lento areia-cag	Filtro lento areia-cag-2	Filtro lento areia	Filtro lento areia-cag	Filtro lento areia-cag-2	
1	1,5	0,7	1,8	1,5	0,8	1,1	—
2	1,5	0,7	1,8	1,5	0,8	1,1	—
3	1,5	0,7	1,8	1,5	0,8	1,1	—
4	1,5	0,7	1,8	1,5	0,8	1,1	—
5	1,5	0,7	1,8	1,5	0,8	1,1	—
7	1,3	0,7	2,0	2,0	2,0	1,7	—
9	1,8	1,4	3,1	2,1	1,7	2,2	—
12	1,5	1,5	2,6	2,0	2,2	2,0	—
14	1,5	1,5	2,7	2,3	2,0	2,2	—
15	1,5	1,5	2,7	2,9	2,9	2,9	—
16	2,4	2,5	3,2	2,9	2,9	2,9	—
19	3,0	3,8	4,5	3,6	4,0	3,6	—
20	2,6	3,8	5,0	3,8	3,8	4,0	—
21	3,6	3,5	4,6	3,8	3,8	3,5	—
22	3,0	3,6	5,1	4,0	4,0	3,9	—
23	3,1	3,7	5,6	4,0	4,0	4,0	—
24	2,8	4,3	5,0	3,3	4,2	4,0	—
25	2,5	3,3	4,9	3,0	4,1	4,1	—
26	2,2	4,0	6,7	2,7	3,5	4,3	—
27	2,4	4,8	7,3	2,5	3,9	3,9	—
28	3,7	4,6	7,6	3,9	3,9	3,9	—
29	3,3	4,6	7,7	3,7	3,7	3,9	—
30	4,4	5,9	8,6	4,0	4,0	4,0	—
31	4,5	6,4	9,3	3,9	3,9	3,9	—
32	4,6	7,0	9,5	4,0	4,0	3,9	—
33	4,6	7,5	9,6	4,1	3,8	4,2	2,7
34	4,8	7,9	9,8	4,0	3,8	4,0	2,2
35	5,9	7,0	9,7	5,0	3,1	4,0	2,2
36	6,5	6,6	10,0	5,2	2,6	4,1	2,2
37	5,0	9,6	10,0	4,0	4,0	4,0	2,2
38	5,3	10,0	9,6	3,9	4,1	4,0	2,8
39	9,5	11,0	5,7	4,0	4,0	4,0	2,8
40	6,5	11,8	9,5	3,9	4,0	4,0	2,8
42	9,0	14,4	9,0	3,9	4,0	4,0	2,7
43	8,3	14,7	8,5	3,3	3,2	3,9	3,1
44	11,0	16,2	8,2	4,0	3,9	4,0	3,1
45	12,5	16,3	8,2	3,9	3,8	3,9	3,8
46	16,5	15,0	8,3	3,7	4,4	4,0	3,8
47	19,5	12,0	8,3	4,5	3,1	3,7	3,8
48	21,1	10,3	8,8	4,3	2,9	3,7	3,8
49	19,8	9,1	9,2	3,5	3,6	4,3	3,8
50	21,3	9,3	9,3	3,9	3,9	3,9	3,8
51	12,9	8,6	9,5	3,9	3,9	3,5	3,8
52	24,6	8,3	10,0	3,7	3,7	3,7	3,7
53	8,0	7,0	8,9	1,7	3,2	2,9	3,7
54	29,0	9,6	12,3	3,9	4,0	4,0	3,7
55	30,4	9,8	13,1	4,1	4,0	4,0	2,8

TABELA C5.8.E Valores de Perda de Carga (cm) e de Taxa de Aplicação Superficial (m³/m²d)

Tempo de operação (d)	PERDA DE CARGA			TAXA APLIC. SUPERFICIAL			Dose Ozônio consumido (mg/L)
	Filtro lento areia	Filtro lento areia-cag	Filtro lento areia-cag-2	Filtro lento areia	Filtro lento areia-cag	Filtro lento areia-cag-2	
58	35,1	10,4	15,1	3,9	3,9	4,0	2,8
59	39,0	10,9	17,0	4,0	4,0	4,0	0,9
60	44,8	12,9	20,0	3,9	3,8	3,9	0,9
61	50,0	15,3	23,3	3,7	3,9	3,8	0,9
62	54,0	16,5	27,3	3,5	3,5	3,7	0,9
63	58,0	20,0	29,4	3,7	3,8	3,7	0,9
64	63,2	23,0	33,5	3,7	4,0	3,6	0,9
65	68,8	25,5	37,2	3,8	4,0	3,7	0,9
66	71,0	26,4	38,0	3,8	4,0	3,8	1,6
67	76,8	29,7	39,0	3,8	4,3	3,8	1,6
68	78,4	30,6	40,3	4,0	4,0	3,8	1,6
69	82,2	33,7	41,2	4,1	4,1	3,9	1,7
70	89,3	36,9	47,3	3,8	4,0	4,1	1,7
71	91,2	41,0	50,1	3,5	4,1	4,0	2,2
72	100,0	48,5	53,2	2,5	5,4	4,2	—

ANEXO F - Valores dos parâmetros medidos na Carreira 6

TABELA C6.1F Valores de Absorvância – 254 nm e de Eficiência (%)

Tempo operação (d)	Água bruta	Pré-filtro vertical ascend.	Montante coluna	Jusante coluna	Filtro lento areia-cag	Filtro lento areia	Efici		Eficiência (%)		H ₂ O ₂ /O ₃
							Pré- Trat.	Pré- oxid.	Filtro areia-cag	Filtro areia	
14	0,081	0,060			0,038	0,038	26		37	37	
21	0,060	0,056	0,056	0,049	0,027	0,028	7	13	45	43	0,1
22	0,067	0,053	0,050	0,056	0,030	0,027	21	0	46	52	0,1
25	0,047	0,043	0,048	0,039	0,019	0,026	9	19	51	33	0,1
27	0,051	0,051	0,050	0,039	0,025	0,028	0	22	36	28	0,1
34	0,051	0,041	0,042	0,035	0,020	0,025	20	17	43	29	0,2
39	0,072	0,037	0,047	0,043	0,019	0,030	49	9	56	30	0,5
41	0,045	0,036	0,038	0,033	0,014	0,026	20	13	58	21	0,7
46	0,059	0,042	0,054	0,043	0,016	0,036	29	20	63	16	1,0
48	0,057	0,056	0,069	0,046	0,019	0,032	2	33	59	30	0,9
53	0,072	0,062	0,059	0,047	0,021	0,036	14	20	55	23	0,5
55	0,188	0,160	0,170	0,134	0,053	0,093	15	21	60	31	0,7
57	0,105	0,040	0,106	0,089	0,035	0,072	62	16	61	19	0,7
60	0,117	0,105	0,114	0,110	0,055	0,096	10	4	50	13	0,6
Máximo	0,188	0,160	0,170	0,134	0,055	0,096	62	33	63	52	1,0
Mínimo	0,045	0,036	0,038	0,033	0,014	0,025	0	0	43	13	0,1
29	0,066	0,053	0,050	0,036	0,028	0,027	20	28	22	25	O ₃ = 1,1
50	0,082	0,068	0,068	0,056	0,033	0,055	17	18	41	2	O ₃ = 1,0
62	0,139	0,131	0,127	0,116	0,062	0,095	6	9	47	18	O ₃ = 1,1
Máximo	0,139	0,131	0,127	0,116	0,062	0,095	20	28	47	25	O ₃ = 1,1
Mínimo	0,066	0,053	0,050	0,036	0,028	0,027	6	9	22	2	

TABELA C6.2F Valores de Carbono Orgânico Dissolvido Não-Purgável (mg/L) e de Eficiência (%)

Tempo operação (d)	Água bruta	Pré-filtro vertical ascend.	Montante coluna	Jusante coluna	Filtro areia cag	Filtro lento areia	Eficiência (%)				H ₂ O ₂ /O ₃
							Pré- Trat.	Pré- oxid.	Filtro areia-cag	Filtro areia	
10	1,1	1,1	—	—	0,9	1,0	6	—	19	5	—
12	1,2	0,9	—	—	0,8	1,2	24	—	11	0	—
14	0,8	1,0	—	—	0,5	0,8	0	—	53	21	—
Máximo	1,2	1,1	0,0	0,0	0,9	1,2	24	0	53	21	—
Mínimo	0,8	0,9	0,0	0,0	0,5	0,8	0	0	11	0	—
21	2,0	0,8	0,8	0,3	0,5	0,6	63	60	0	0	0,1
22	1,6	1,0	1,1	0,8	0,6	0,8	34	31	18	0	0,1
25	0,4	0,3	0,3	0,1	0,1	0,3	21	79	0	0	0,1
27	0,5	0,6	0,7	0,6	0,3	0,5	0	15	50	24	0,1
32	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,5	12	16	22	8	0,3
Máximo	2,0	1,0	1,1	0,8	0,6	0,8	63	79	50	24	0,3
Mínimo	0,4	0,3	0,3	0,1	0,1	0,3	0	15	0	0	0,1
39	0,9	0,7	0,8	0,2	0,4	0,6	21	70	0	0	0,5
53	0,6	0,3	0,3	0,5	0,0	nd	45	0	99	100	0,5
60	1,4	0,7	0,7	0,1	0,2	1,4	51	81	0	0	0,7
41	0,5	0,6	0,4	nd	0,2	0,3	0	100	0	0	0,7
Máximo	1,4	0,7	0,8	0,5	0,4	1,4	51	100	99	100	0,7
Mínimo	0,5	0,3	0,3	nd	0,0	0,3	0	0	0	0	0,5
46	0,9	0,8	0,7	nd	0,3	0,5	9	100	0	0	1,0
48	0,4	0,5	0,2	0,4	nd	0,1	0	0	100	71	0,9
Máximo	0,9	0,8	0,7	0,4	0,3	0,5	9	100	100	71	1,0
Mínimo	0,4	0,5	0,2	nd	0,3	0,1	0	0	0	0	0,9
17	1,0	0,7	0,9	0,5	0,6	0,7	27	46	0	0	O ₃ = 1,0
18	1,1	0,8	0,7	0,3	0,2	0,4	24	57	29	0	O ₃ = 1,0
29	0,6	0,5	0,6	0,4	0,3	0,4	14	32	41	15	O ₃ = 1,1
50	0,7	0,6	0,5	0,7	nd	0,4	13	0	100	48	O ₃ = 1,0
62	0,6	0,4	1,0	nd	1,1	0,9	29	100	0	0	O ₃ = 1,1
Máximo	1,1	0,8	1,0	0,7	1,1	0,9	29	100	100	48	O ₃ = 1,1
Mínimo	0,6	0,4	0,5	nd	nd	0,4	13	0	0	0	O ₃ = 1,0

TABELA C6.3F Valores de Cor Verdadeira (uH) e de Eficiência (%)

TABELA 02.01: Valores do Coeficiente de Eficiência (%)											
Tempo operação (d)	Água bruta	Pré-filtro vertical ascend.	Montante coluna	Jusante coluna	Filtro areia cag	Filtro lento areia	Eficiência (%)				H ₂ O ₂ /O ₃
							Pré- Trat.	Pré- oxid.	Filtro areia-cag	Filtro areia	
13	20	22	—	22	15	18	0	—	32	18	—
14	20	14	—	14	13	13	30	—	7	7	—
15	46	27	—	27	15	16	41	—	44	41	—
Máximo	46	27	—	27	15	18	41	—	44	41	—
Mínimo	20	14	—	14	13	13	0	—	7	7	—

TABELA C6.3F Valores de Cor Verdadeira (uH) e de Eficiência (%)

Tempo operação (d)	Água bruta	Pré-filtro vertical ascend.	Montante coluna	Jusante coluna	Filtro areia cag	Filtro lento areia	Eficiência (%)				H ₂ O ₂ /O ₃
							Pré- Trat.	Pré- oxid.	Filtro areia-cag	Filtro areia	
20	28	20	20	15	8	9	29	25	47	40	0,1
21	33	17	17	11	8	4	48	35	27	64	0,1
22	45	23	23	17	13	13	49	26	24	24	0,1
23	31	24	24	18	14	13	23	25	22	28	0,1
24	40	33	33	15	16	18	18	55	<0	<0	0,1
25	47	26	26	23	16	12	45	12	30	48	0,1
26	31	20	20	15	10	11	35	25	33	27	0,1
27	27	20	20	18	17	4	26	10	6	78	0,1
28	35	25	26	24	15	10	29	8	38	58	0,2
30	25	18	19	12	8	7	28	37	33	42	0,2
31	32	16	22	19	13	9	50	14	32	53	0,2
32	27	26	23	15	11	8	4	35	27	47	0,3
34	29	20	19	14	8	9	31	26	43	36	0,2
35	29	19	17	14	10	10	34	18	29	29	0,2
37	31	19	19	15	8	9	39	21	47	40	0,2
Máximo	47	33	33	24	17	18	50	55	47	78	0,3
Mínimo	25	16	17	11	8	4	4	8	6	24	0,1
38	28	17	17	13	9	10	39	24	31	23	0,5
39	41	20	26	16	10	11	51	38	38	31	0,5
41	37	27	26	22	8	12	27	15	64	45	0,7
42	33	19	18	15	9	12	42	17	40	20	0,6
53	41	25	26	19	11	16	39	27	42	16	0,5
54	42	26	23	18	12	14	38	22	33	22	0,5
55	58	38	38	36	13	25	34	5	64	31	0,7
56	47	28	28	20	11	18	40	29	45	10	0,7
57	49	27	24	18	8	16	45	25	56	11	0,7
59	43	28	30	19	8	18	35	37	58	5	0,7
60	46	25	24	18	11	14	46	25	39	22	0,7
61	48	31	26	21	11	15	35	19	48	29	0,6
Máximo	58	38	38	36	13	25	51	38	64	45	0,7
Mínimo	28	17	17	13	8	10	27	5	31	5	0,5
45	26	15	16	11	7	9	42	31	36	18	1,1
46	30	22	23	21	9	14	27	9	57	33	1,0
47	32	18	18	16	9	13	44	11	44	19	1,0
48	37	22	26	21	11	16	41	19	48	24	0,9
Máximo	37	22	26	21	11	16	44	31	57	33	1,1
Mínimo	26	15	16	11	7	9	27	9	36	18	0,9

TABELA C6.3F Valores de Cor Verdadeira (uH) e de Eficiência (%)

Tempo operação (d)	Água bruta	Pré-filtro vertical ascend.	Montante coluna	Jusante coluna	Filtro areia cag	Filtro lento areia	Eficiência (%)				H_2O_2/O_3
							Pré- Trat.	Pré- oxid.	Filtro areia-cag	Filtro areia	
16	32	22	20	18	13	12	31	10	28	33	$O_3 = 1,0$
19	27	26	23	17	12	13	4	26	29	24	$O_3 = 1,0$
29	24	18	18	14	8	8	25	22	43	43	$O_3 = 1,0$
33	27	18	19	15	12	10	33	21	20	33	$O_3 = 1,0$
36	31	24	20	18	7	6	23	10	61	67	$O_3 = 1,1$
49	56	32	30	23	12	17	43	23	48	26	$O_3 = 1,0$
50	45	27	30	18	11	17	40	40	39	6	$O_3 = 1,0$
51	50	28	29	20	10	19	44	31	50	5	$O_3 = 1,0$
52	35	23	22	15	8	13	34	32	47	13	$O_3 = 1,0$
62	38	22	20	15	9	13	42	25	40	13	$O_3 = 1,1$
Máximo	56	32	30	23	13	19	44	40	61	67	$O_3 = 1,1$
Mínimo	24	18	18	14	7	6	4	10	20	5	$O_3 = 1,0$

TABELA C5.4F Valores de Cor Aparente (uH) e de Eficiência (%)

Tempo operação (d)	Água bruta	Pré-filtro vertical ascendente	Montante coluna	Jusante coluna	Filtro lento areia-ca	Filtro lento areia	Eficiência (%)				Relação H_2O_2/O_3
							Pré- Trat.	Pré- oxid.	Filtro areia-cag	Filtro areia	
Máximo	127	62	63	54	31	31	57	17	62	63	0,3
Mínimo	88	43	43	37	14	15	43	11	42	38	0,1
38	100	45	45	38	16	20	55	16	58	47	0,5
39	94	43	43	37	18	25	54	14	51	32	0,5
53	122	59	60	51	28	35	52	15	45	31	0,5
54	129	61	58	52	25	32	53	10	52	38	0,5
42	106	49	49	43	21	27	54	12	51	37	0,6
55	173	91	92	81	30	51	47	12	63	37	0,7
56	151	64	66	58	24	47	58	12	59	19	0,7
57	140	55	56	48	17	35	61	14	65	27	0,7
58	130	57	57	48	16	35	56	16	67	27	0,7
59	135	57	58	48	17	35	58	17	65	27	0,7
60	130	55	55	48	18	33	58	13	63	31	0,7
61	129	54	52	46	16	31	58	12	65	33	0,6
41	127	60	53	46	17	26	53	13	63	43	0,7
Máximo	173	91	92	81	30	51	61	17	67	47	0,7
Mínimo	94	43	43	37	16	20	47	10	45	19	0,5
45	111	48	48	42	15	27	57	13	64	36	1,1
46	99	48	49	43	16	27	52	12	63	37	1,0
47	104	49	49	43	20	25	53	12	53	42	1,0
Máximo	111	49	49	43	20	27	57	13	64	42	1,1
Mínimo	99	48	48	42	15	25	52	12	53	36	1,0

TABELA C6.4F Valores de Cor Aparente (uH) e de Eficiência(%) - continuação - b

Tempo operação (d)	Água bruta	Pré-filtro vertical ascendente	Montante coluna	Jusante coluna	Filtro lento areia-ca	Filtro lento areia	Eficiência (%)				Relação H ₂ O ₂ /O ₃
							Pré- Trat.	Pré- oxid.	Filtro areia-cag	Filtro areia	
13	98	51	55	55	21	24	48	—	59	53	—
14	104	61	61	61	29	30	41	—	52	51	—
15	115	53	53	53	23	28	54	—	57	47	—
Máximo	115	61	61	61	29	30	54	0	59	53	—
Mínimo	98	51	53	53	21	24	41	0	52	47	—
20	126	59	59	51	21	22	53	14	59	57	0,1
21	127	61	61	54	31	22	52	11	43	59	0,1
22	122	62	63	54	27	24	49	14	50	56	0,1
23	101	58	60	52	29	26	43	13	44	50	0,1
24	124	58	58	50	29	31	53	14	42	38	0,1
25	127	54	54	47	23	21	57	13	51	55	0,1
26	117	52	52	44	22	23	56	15	50	48	0,1
27	104	49	52	43	22	22	53	17	49	49	0,1
28	111	54	54	45	23	19	51	17	49	58	0,2
30	96	49	49	43	20	18	49	12	53	58	0,2
31	108	46	47	40	18	15	57	15	55	63	0,2
32	103	54	55	48	21	20	48	13	56	58	0,3
34	97	47	46	39	16	18	52	15	59	54	0,2
35	88	44	45	38	17	19	50	16	55	50	0,2
37	98	43	43	37	14	19	56	14	62	49	0,2
Máximo	127	62	63	54	31	31	57	17	62	63	0,3
Mínimo	88	43	43	37	14	15	43	11	42	38	0,1

TABELA C6.5F Valores de Oxigênio Consumido (mg/L) e de Eficiência (%)

Tempo operação (d)	Água bruta	Pré-filtro dinâmico	Pré-filtro vertical ascend.	Jusante coluna	Filtro areia cag	Filtro lento areia	Eficiência (%)				H ₂ O ₂ /O ₃
							Pré- trat.	Pré- oxid.	Filtro areia-cag	Filtro areia	
14	1,55	1,25	1,25	—	0,50	0,75	19	—	60	40	—
25	1,60	1,10	1,20	0,80	0,55	0,40	31	33	31	50	0,1
32	1,80	1,00	1,20	0,80	0,40	0,40	44	33	50	50	0,3
53	1,70	0,85	1,05	0,95	0,40	0,40	50	10	58	58	0,5
Máximo	1,80	1,10	1,20	0,95	0,55	0,40	50	33	58	58	0,5
Mínimo	1,60	0,85	1,05	0,80	0,40	0,40	31	10	31	50	0,1
18	1,90	2,00	2,00	1,85	0,25	0,50	<0	8	86	73	O ₃ = 1,0
62	2,00	1,05	1,05	1,05	0,20	0,55	48	0	81	48	O ₃ = 1,1

TABELA C6.6F Valores de Bactérias Heterotróficas (UFC/100mL) e de Eficiência (%)

Tempo operação (d)	Água bruta	Pré-filtro vertical ascend.	Montante coluna	Jusante coluna	Filtro areia cag	Filtro lento areia	Eficiência (%)			Relação H ₂ O ₂ /O ₃
							Pré- Trat.	Pré- Oxid.	Filtro areia-cag	
14	339	74	—	—	56	28	78	—	25	63
25	440	44	62	10	51	28	90	83	0	0,1
32	392	62	62	4	10	19	84	93	0	0,3
39	470	62	47	8	16	41	87	82	0	0,5
53	392	56	56	12	19	31	86	78	0	0,5
46	738	62	34	13	21	18	92	62	0	1,0
18	392	41	51	10	44	15	89	79	0	64 O ₃ = 1,0

TABELA C6.7F Valores de Coliformes Totais (NMP/100mL) e de Eficiência (%)

Tempo operação (d)	Montante coluna	Jusante coluna	Filtro areia cag	Filtro lento areia	Eficiência (%)			Relação H ₂ O ₂ /O ₃
					Pré- trat.	Filtro areia-cag	Filtro areia	
14	—	—	20	31	92	90	84	—
18	291	0	2	3	87	99	99	O ₃ = 1,0
25	727	0	1	2	85	0	0	0,1
32	172	0	0	0	88	—	—	0,3
39	179	0	0	2	94	—	0	0,5
46	435	0	0	1	93	—	0	0,7
53	517	0	0	1	93	—	0	0,5
61	225	0	0	0	96	—	0	0,6
Máximo	727	0	1	2	94	—	0	0,7
Mínimo	172	0	0	0	85	—	0	0,1

TABELA C6.8F Valores de *Escherichia coli* (NMP/100mL) e de Eficiência (%)

Tempo operação (d)	Água bruta	Pré-filtro vertical ascendente	Montante coluna	Jusante coluna	Filtro lento areia-cag	Filtro lento areia	H ₂ O ₂ /O ₃
14	135	24	—	—	2	3	—
18	211	11	12	0	0	0	O ₃ =0,8
25	246	12	13	0	0	0	0,1
32	281	14	15	0	0	0	0,3
39	171	9	14	0	0	0	0,5
46	158	23	25	0	0	0	0,7
53	145	11	11	0	0	0	0,5
61	95	6	9	0	0	0	0,6
Máximo	281	23	25	0	0	0	0,7
Mínimo	145	9	11	0	0	0	0,1

TABELA C6.9F Nitrogênio Amoniacal (mg/L) e de Eficiência (%)

Água bruta	Pré-filtro vertical ascendente	Montante coluna	Jusante coluna	Filtro lento	Filtro areia-ca areia	Eficiência (%)				H_2O_2/O_3
						Pré- Trat.	Pré- oxid.	Filtro areia-cag	Filtro areia	
0,14	0,08	0,06	0,09	0,02	0,04	43	<0	78	56	$O_3=1,0$
0,18	0,08	0,12	0,16	0,09	0,07	56	<0	44	56	0,1
0,14	0,10	0,09	0,10	0,03	0,05	29	0	70	50	1,0
0,18	0,12	0,12	0,14	0,02	0,07	33	<0	86	50	0,5
0,18	0,07	0,09	0,09	0,01	0,06	61	0	89	33	1,1
0,18	0,12	0,12	0,16	0,09	0,07	61	0	89	56	1,1
0,14	0,08	0,06	0,09	0,02	0,04	29	<0	44	50	0,1

TABELA C6.10F Valores de Nitrato (mg/L) e de Eficiência (%)

Tempo operação (d)	Água bruta	Pré-filtro vertical ascend.	Montante coluna	Jusante coluna	Filtro areia cag	Filtro lento areia	Eficiência (%)				Relação H_2O_2/O_3
							Pré- Trat.	Pré- oxid.	Filtro areia-cag	Filtro areia	
14	0,629	0,515	0,52	—	0,42	0,45	18	—	18	12	—
25	0,516	0,515	0,55	0,52	0,17	0,31	0	5	67	40	0,1
32	0,465	0,453	0,42	0,45	0,22	0,34	3	0	50	25	0,3
46	0,515	0,497	0,52	0,45	0,23	0,39	3	13	49	14	1,0
53	0,510	0,452	0,46	0,41	0,18	0,38	11	10	57	8	0,5
62	0,560	0,630	0,66	0,53	0,34	0,43	<0	21	35	18	$O_3=1,1$
Máximo	0,516	0,515	0,55	0,52	0,23	0,39	11	13	67	40	1,0
Mínimo	0,465	0,452	0,42	0,41	0,17	0,31	<0	0	49	8	0,1

TABELA C6.11F Valores de Turbidez (UT) e de Eficiência (%)

Tempo operação (d)	Água bruta	Pré-filtro vertical ascend.	Montante coluna	Jusante coluna	Filtro areia cag	Filtro lento areia	Eficiência (%)				Relação H_2O_2/O_3
							Pré- Trat.	Pré- oxid.	Filtro areia-cag	Filtro areia	
1	14,4	7,2	7,2	—	1,0	7,1	50	—	86	1	—
3	12,2	6,6	6,6	—	1,3	6,4	46	—	81	4	—
4	15,4	6,8	6,8	—	1,9	6,6	56	—	72	4	—
5	17,5	8,0	8,0	—	3,3	5,6	55	—	59	29	—
6	14,0	6,2	6,2	—	3,2	5,6	56	—	49	9	—
8	16,2	9,4	9,4	—	7,0	7,9	42	—	26	16	—
9	17,0	8,2	8,2	—	6,2	6,1	52	—	24	26	—
10	14,7	8,8	8,8	—	5,3	5,0	40	—	39	43	—
11	16,6	8,8	8,8	—	4,9	4,5	47	—	44	49	—
12	12,2	7,9	7,9	—	4,1	4,2	35	—	48	47	—
13	14,4	8,1	8,1	—	4,2	4,3	44	—	49	47	—
14	14,1	7,6	7,6	—	4,0	4,0	46	—	48	47	—
15	16,9	7,3	7,3	—	3,7	4,0	57	—	49	46	—
Máximo	17,5	9,4	9,4	—	7,0	7,9	57	—	86	49	—
Mínimo	12,2	6,2	6,2	—	1,0	4,0	17	—	24	1	—

TABELA C6.11F Valores de Turbidez (UT) e de Eficiência (%)

Tempo operação (d)	Água bruta	Pré-filtro vertical ascendente	Montante coluna	Jusante coluna	Filtro lento areia-ca	Filtro lento areia itamexidaçê	Eficiência (%)				H2O2/O3
							Pré-	Pré-	Flento	Flento	
							areia	areia	areia-cag	areia	
20	15,9	7,4	7,4	7,3	3,3	3,5	54	2	55	52	0,1
21	16,5	7,4	7,1	7,0	4,3	2,9	55	1	39	59	0,1
22	16,3	8,0	8,7	7,8	5,3	4,5	51	10	33	43	0,1
23	16,8	8,3	8,3	8,6	5,3	5,3	51	0	39	38	0,1
24	14,1	7,1	7,1	6,8	4,3	4,2	50	5	37	37	0,1
25	18,8	7,4	7,4	7,0	3,8	3,6	61	6	46	49	0,1
26	18,8	7,3	7,2	6,7	3,6	3,3	61	6	46	51	0,1
27	14,1	7,0	6,9	6,7	3,5	3,0	50	3	48	55	0,1
28	14,0	7,3	6,9	7,6	3,5	2,9	48	<0	54	62	0,2
30	13,3	6,8	6,5	6,9	3,1	2,6	49	<0	55	63	0,2
31	14,8	6,6	7,2	6,3	3,2	2,8	55	12	49	56	0,2
32	14,1	6,2	6,4	6,4	3,0	2,7	56	0	54	58	0,3
34	12,0	5,9	6,4	6,4	3,2	3,0	51	0	50	54	0,2
35	12,3	6,1	5,8	5,7	2,8	3,1	50	1	51	45	0,2
37	12,5	6,1	5,8	5,7	2,7	2,9	51	0	53	49	0,2
38	15,5	6,2	6,1	6,2	2,8	3,1	60	0	55	50	0,5
40	15,5	6,2	6,1	5,6	1,9	3,3	60	9	66	40	0,5
41	17,7	7,8	7,6	7,5	3,0	4,3	56	1	60	43	0,7
42	13,7	6,6	6,7	6,4	3,0	4,1	52	3	54	37	0,6
43	12,8	5,9	6,2	6,0	2,6	4,6	54	3	57	23	1,0
45	15,8	6,6	6,3	6,2	2,6	4,7	58	1	58	25	1,1
46	13,8	6,7	6,7	6,3	2,8	4,4	51	6	57	31	1,0
47	15,0	6,6	6,6	6,3	2,5	4,7	56	4	60	26	1,0
48	15,4	6,9	7,1	6,4	2,9	5,0	55	9	56	22	0,9
53	15,2	7,3	7,3	8,2	2,8	5,0	52	0	66	40	0,5
54	14,5	7,2	7,2	7,0	2,8	5,0	50	4	60	29	0,5
55	20,9	11,2	11,4	11,1	4,3	6,8	46	3	61	39	0,7
56	18,6	8,3	8,4	8,6	3,8	6,5	56	0	56	25	0,7
57	17,4	6,9	7,0	6,8	2,6	5,0	61	2	62	26	0,7
58	17,6	6,8	6,9	6,8	2,5	5,0	61	1	63	26	0,7
59	18,0	6,8	6,8	6,8	2,5	5,1	62	1	63	25	0,7
60	16,9	6,5	6,5	6,4	2,4	4,4	62	2	62	31	0,7
61	16,5	6,4	6,4	6,2	2,2	4,2	61	2	65	33	0,6
Máximo	20,9	11,2	11,4	11,1	5,3	6,8	62	12	66	63	1,1
Mínimo	12,0	5,9	5,8	5,6	1,9	2,6	46	0	33	22	0,1

TABELA C6.17F Valores de pH

Tempo operação (d)	Água bruta	Pré-filtro vertical ascendente	Montante coluna	Jusante coluna	Filtro lento areia-ca	Filtro lento areia	H ₂ O ₂ /O ₃
1	7,0	6,8	—	—	5,9	6,7	—
3	7,0	6,8	—	—	5,9	6,7	—
4	7,1	7,0	—	—	5,8	6,6	—
5	7,1	7,1	—	—	5,9	6,8	—
8	7,0	6,7	—	—	6,2	6,9	—
9	7,0	6,9	—	—	6,2	6,7	—
11	7,0	6,8	—	—	6,4	7,1	—
12	6,8	6,8	—	—	5,9	6,5	—
13	6,6	7,0	—	—	6,1	6,6	—
14	7,2	7,0	—	—	6,4	7,1	—
15	6,7	6,8	—	—	5,9	6,5	—
16	6,5	6,7	6,8	—	6,0	6,6	—
17	6,9	6,9	6,8	—	6,0	6,7	—
18	6,7	6,7	6,7	—	6,1	6,7	—
19	6,9	6,9	6,9	—	5,9	6,5	—
Máximo	7,2	7,1	6,9	—	6,4	7,1	—
Mínimo	6,5	6,7	6,7	—	5,8	6,5	—
20	6,5	6,8	6,9	6,9	6,2	6,7	0,1
21	6,2	6,8	6,9	6,9	6,3	6,7	0,1
22	7,1	7,1	7,1	7,0	6,3	6,9	0,1
23	7,2	7,2	7,2	7,2	6,5	6,9	0,1
24	7,1	7,0	7,1	7,0	6,3	7,0	0,1
25	7,2	7,3	7,3	7,2	6,3	7,0	0,1
26	7,2	7,4	6,8	7,3	6,1	7,0	0,1
27	7,4	7,2	7,4	7,3	6,1	7,1	0,1
28	7,3	7,4	7,5	7,4	6,3	7,2	0,2
30	7,2	7,4	7,5	7,4	6,2	7,1	0,2
31	7,4	7,4	7,5	7,3	6,1	7,2	0,2
32	7,2	7,4	7,4	7,4	6,1	7,3	0,2
34	7,4	7,2	6,3	7,3	6,1	7,3	0,2
35	7,0	6,8	7,5	7,3	6,2	7,3	0,2
37	7,4	7,5	7,5	7,4	6,0	7,1	0,2
38	7,3	7,4	7,4	7,3	6,1	7,3	0,5
40	7,3	7,4	7,4	7,3	5,8	7,1	0,5
41	7,0	7,3	7,4	7,1	5,8	6,9	0,7
42	7,1	7,6	7,7	7,6	6,1	7,3	0,6
43	6,9	7,4	7,4	7,1	5,9	7,0	1,0
45	7,5	7,4	7,4	7,5	5,9	7,5	1,1
46	7,3	7,4	7,3	7,4	6,0	7,4	1,0
47	7,3	7,5	7,6	7,4	6,0	7,2	0,9
53	7,3	7,3	7,4	7,3	5,9	7,1	0,5
54	7,3	7,3	7,4	7,3	5,8	7,0	0,5
55	7,4	7,2	7,3	7,2	5,8	7,1	0,5
56	7,1	7,2	7,7	7,5	5,9	7,1	0,7
57	7,3	7,3	7,4	7,3	5,8	6,9	0,7
58	7,3	7,3	7,4	7,3	5,9	7,1	0,7
59	7,2	7,2	7,7	7,4	5,8	7,1	0,7
60	7,4	7,5	7,6	7,4	5,9	7,3	0,7
61	7,5	7,6	7,6	7,3	5,8	6,9	0,6
Máximo	7,5	7,6	7,7	7,6	6,5	7,5	1,1
Mínimo	6,5	6,8	6,3	6,9	5,8	6,7	0,1

TABELA C6.15F Valores de pH

Tempo operação (d)	Água bruta	Pré-filtro vertical ascendente	Montante coluna	Jusante coluna	Filtro lento areia-ca	Filtro lento areia	H ₂ O ₂ /O ₃
29	7,2	7,4	7,5	7,4	6,2	7,2	O ₃ = 1,1
33	6,6	7,5	7,6	7,4	6,0	7,2	O ₃ = 1,0
36	7,4	7,7	7,6	7,5	6,2	7,3	O ₃ = 1,0
48	7,5	7,3	7,4	7,1	6,0	7,2	O ₃ = 1,0
50	6,8	6,9	7,0	6,7	5,8	6,8	O ₃ = 1,0
51	6,8	6,8	6,8	6,6	6,0	6,9	O ₃ = 1,0
52	7,2	7,2	7,2	6,2	5,6	7,1	O ₃ = 1,0
62	7,6	7,3	7,4	7,2	5,9	7,1	O ₃ = 1,1
Máximo	7,6	7,7	7,6	7,5	6,2	7,3	O ₃ = 1,1
Mínimo	6,6	6,8	6,8	6,2	5,6	6,8	O ₃ = 1,0

TABELA C6.18F Valores de Temperatura (oC)

Tempo operação (d)	Água bruta	Pré-filtro vertical ascendente	Montante coluna	Jusante coluna	Filtro lento areia-ca	Filtro lento areia
3	19,0	19,0	—	—	19,5	20,0
4	19,0	19,5	—	—	20,5	20,0
5	19,5	20,5	—	—	21,0	20,0
8	19,0	21,0	—	—	20,0	19,5
9	20,0	21,0	—	—	20,5	20,5
10	18,5	18,5	—	—	18,5	18,0
11	18,0	18,0	—	—	18,0	18,0
12	18,0	18,0	—	—	18,0	18,0
13	20,0	20,0	—	—	19,0	19,0
14	19,0	19,5	—	—	20,0	20,0
15	20,0	20,0	—	—	21,0	20,5
16	22,0	22,0	23,0	23,0	23,0	23,0
17	19,0	16,5	17,5	17,0	16,0	16,0
18	19,0	18,0	19,0	18,0	17,0	17,0
19	21,5	21,5	21,5	21,0	20,5	20,5
20	22,0	23,0	23,0	23,0	22,0	22,0
21	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0
22	16,5	16,0	17,0	17,0	15,0	15,5
23	20,5	21,0	22,5	22,5	20,0	19,0
24	18,5	19,0	19,0	19,0	18,0	18,0
25	19,0	19,0	19,5	19,5	19,5	19,5
26	20,0	21,0	21,0	22,0	20,0	20,5
27	19,0	18,0	19,5	20,0	19,0	19,0
28	19,0	18,0	18,0	19,0	19,0	19,0
29	19,0	19,0	19,0	19,0	20,0	20,0
30	19,0	18,0	19,0	19,0	19,0	19,0

TABELA C6.21 F Valores de Perda de Carga (cm)

Tempo operação (d)	Perda de carga (cm)		Taxa (m3/m2d)		H ₂ O ₂ /O ₃
	Filtro areia	Filtro areia-cag	Filtro areia	Filtro areia-cag	
1	1,5	0,7	1,0	0,5	—
3	0,6	0,7	0,5	0,4	—
4	0,9	1,0	0,5	0,5	—
5	2,8	3,5	1,7	1,7	—
6	1,2	0,8	0,5	0,5	—
9	10,8	5,7	2,6	2,2	—
10	14,2	7,4	3,6	3,1	—
11	16,4	8,0	3,5	3,1	—
13	18,4	10,7	4,0	4,0	—
14	19,0	10,3	3,9	3,9	—
15	20,0	10,4	4,0	4,0	—
16	23,4	11,2	3,9	3,9	O3= 1,0
18	32,3	13,8	3,8	3,7	O3= 1,0
19	32,5	11,6	2,9	2,8	O3= 1,0
20	40,4	13,2	4,2	3,2	0,1
21	35,7	19,5	2,8	5,1	0,1
22	46,3	18,0	3,8	3,7	0,1
23	44,8	18,0	3,8	3,8	0,1
24	53,5	19,2	4,3	3,6	0,1
25	54,8	21,8	3,9	3,9	0,1
26	58,5	24,0	4,1	4,0	0,1
27	59,5	24,5	4,0	3,8	0,1
28	61,3	26,4	4,0	3,9	0,2
29	61,2	27,8	3,9	3,9	O3= 1,0
30	61,6	29,5	4,0	3,9	0,2
31	62,2	31,5	4,1	4,0	0,2
32	62,0	32,0	4,0	3,9	0,3
33	61,0	33,6	4,0	4,0	O3= 1,0
34	59,0	34,5	4,1	3,9	0,2
35	54,3	34,5	4,1	3,6	0,2
36	53,0	37,4	4,0	4,0	O3= 1,0
37	54,0	38,1	4,0	4,0	0,2
38	42,8	39,0	4,1	3,9	0,5
39	37,0	40,5	4,0	3,9	0,5
40	21,0	26,0	2,9	1,8	0,5
42	26,9	46,3	4,3	4,1	0,6
43	21,6	43,8	4,0	3,9	1,0
45	17,5	48,0	3,8	3,8	1,1
46	15,9	51,0	3,8	3,7	1,0
47	13,0	51,5	3,9	3,7	1,0
48	12,0	52,1	3,9	3,7	0,9
50	8,5	41,5	3,9	4,0	O3= 1,0
51	7,6	45,2	3,9	3,9	O3= 1,0
52	8,3	51,8	3,8	3,7	O3= 1,0
53	7,9	52,0	3,7	3,5	0,5
54	7,8	52,6	3,9	3,9	0,5
55	7,2	44,0	3,9	3,9	0,7
56	6,6	48,0	3,9	3,9	0,7
57	6,0	49,1	4,1	4,1	0,7
58	5,8	47,0	3,9	4,1	0,7
59	5,6	46,0	3,7	4,0	0,7
60	5,0	46,0	3,8	4,0	0,7
61	5,1	43,5	3,8	3,7	0,6
62	5,5	48,0	3,9	3,9	O3= 1,0

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACERO, J.L. & GUNTEN VON, U. (2001) Caracterization of OXIDATION processes: ozonation and the AOP O_3/H_2O_2 . *Journal AWWA*, p.90-100, october.
- ACERO, J.L.; STEMMER, K.; GUNTEN VON, U. (2000). Degradation Kinetics of Atrazine and Its Degradation Products with Ozone and OH radicals: A Predictive Tool for Drinking Water Treatment. *Environ. Sci. Technol.*, v.34, p.591-597
- ADAMS, C.D.; RANDTKE, S.J. (1992). Ozonation Byproducts of Atrazine in Synthetic and Natural Waters. *Environ. Sci. Technol.*, v.26, n.11.
- AGERTVED, J.; RÜGGE, K.; BARKER, J.F. (1992) Transformation of the Herbicides MCPP and atrazine under Natural Aquifer Conditions, *Ground Water*, v. 30, n4, p. 500-506, july-august.
- AGGIO, C.E.G. (1993). *A comunidade biótica dos filtros lentos de areia da estação piloto do SHS – Escola de Engenharia de São Carlos*. São Carlos. 205p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo
- AIETA et al (1988). Advanced Oxidation Processes for Treating Groundwater Contaminated with TCE and PCE: Pilot Scale Evaluations. *Journal AWWA*, p.64-72.
- ALMEIDA, H. S. (2001) Remoção de substâncias húmicas no processo de Filtração em Múltiplas Etapas precedido de oxidação com ozônio. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil com área de concentração em Hidráulica e Saneamento, Departamento de Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, São Paulo, Brasil, 190p.
- APHA, AWWA, WPCF, (1996). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 19^a ed., Washington, D.C., 1268p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1989) - ABNT NB592 "Projeto de Estação de Tratamento de Água", Rio de Janeiro, Brasil
- BAUER, M.J.; COLBOURNE, J.S.; FOSTER, D.M.; GOODMAN, N.V.; RACHWAL, A.J. (1996) GAG Enhanced Slow Sand Filtration (GAG Sandwich) In: GRAHAM, N., COLLINS, R. eds. *Advances in Slow Sand and Alternative Biological Filtration*. ed. England: John Wiley & Sons, p.223-231.
- BERG, M.; MÜLLER, S.R.; SCHWARZENBACH, R.P. (1995) Simultaneous Determination of Triazines Including Atrazine and Their Major Metabolites Hydroxyatrazine, Desethylatrazine, and Deisopropylatrazine in Natural Waters, *Analytical Chemistry*, v, 67, n11, p.1860-1865, june.
- BELTRAN, F. J., OVEJERO, G., ACEDO, B. (1993) Oxidation of Atropine in Water by Ultraviolet Radiation Combined with Hydrogen Peroxide, *Wat. Res.* v. 7, n.6, p. 013-1021.
- BELTRAN, F.J., ARAYA, J.F.G., ACEDO, B. (1994). Advanced Oxidation of Atrazine in Water - I. Ozonation, *Water Resource*, v. 28, p.2153-2164.
- BELTRAN, J.F.; GARCÍA-ARAYA, J.F.; ÁLVAREZ, P.M.; RIVAS, P.M.A. (1996) Aqueous Degradation of Atrazine and Some Its Main By-products with Ozone/Hydrogen Peroxide. *J. Chem. Biotechnol.* v.71, p.345-355.
- BICHAT, F.; SIMS, G.K.; MULVANEY, R.L. (1999) Microbial Utilization of Heterocyclic Nitrogen from Atrazine, *Soil sci. Am. J.*, v.63, p.100-110.

- BIERK, B. R. ET AL. (1996). Ozone Disinfection. In: GRASSO, D. dir. *Wastewater Disinfection – Manual of Practice* –FD-10, WEF, USA.
- BLANKEN, J.G. (1982) Microbial Activity in Activated Carbon Filters, *Microbial Activity*, p.405-425.
- BRANDÃO C.C. et al. (1998). O Uso da Filtração em Múltiplas Etapas no Tratamento de Águas com Elevado Teor de Algas. In: XXVI CONGRESSO INTERAMERICANO DE INGENIERÍA SANITÁRIA Y AMBIENTAL., 1 a 5 de novembro, Lima, Peru.
- BRASIL, Portaria nº 36/GM, de 19 de janeiro de 1990. Estabelece Normas e Padrões de Potabilidade de Água Destinada ao Consumo Humano. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília
- BUNCH, r.I. (1979). Pilot Plant Development of Ozone Disinfection. In: *Physicochemical Methods for Water and Wastewater Treatment _ Proceedings of the Second International Conference*, Lublin, June, Pergamon Press Ltda, England.
- CABLE, C. J., JONES, R. G. (1996). Assessing the Effectiveness of Ozonization Followed by Slow Sand Filtration In Removing THM Precursor Material from an Upland Raw Water In: GRAHAM, N., COLLINS, R.(Editores). *Advances in Slow Sand and Alternative Biological Filtration*. 1. ed. England:John Wiley & Sons, p.29-37.
- CAMEL, V. & BERMOND, A. (1998) The use of ozone and associated oxidation processes in drinking water treatment. *Wat. Res.*, v.32, p.3208-3222.
- CARLSON, K.H. et al. (1996). Ozone-Induced Biodegradation and Removal of NOM and Ozonation By-products in Biological Filter. In: GRAHAM, N., COLLINS, R. eds. *Advances in Slow Sand and Alternative Biological Filtration*. 1. ed. England:John Wiley & Sons, p. 61-69.
- COOK, A . M. & HÜTTER, R. (1981). S-Triazines as Nitrogen Sources for Bacteria. *J. Agric. Food Chem.* n.29, p.1135-1143.
- COOK, A. M. (1987). Biodegradation of s-triazines xenobiotics. *FEMS Microbiology Reviews*, vol.46, p.93-116.
- DEMPSEY, B.A. & FU, L.T. (1994). Pretreatment Techniques and Developments – Preozonation. In: COLLINS, M.R. & GRAHAM, M.J.D. *Slow Sand Filtration:An International Compilation of Recent Scientific and Operational Developments*. London, p.127-146.
- DI BERNARDO, L. (1993). *Métodos e Técnicas de Tratamento de Água*. Rio de Janeiro, v.1, p.281-401.
- DRIES, D., DE CORTE, B., LIESSENS, J., STEURBAUT, W., DEJONCKHEERE, W., VERSTRAETE, W. (1987). Recalcitrance of atrazine at low levels to aerobic and hydrogenotrophic micro-organisms. *Biotechnology Letters*, v. 9, n.11, p.811-816, october.
- DUGUET, J.P., BRUCHET, A., MALLEVIALLE, J. (1992). New Advances in Oxidation Processes:Use of the Ozone/Hydrogen Peroxide Combination for Micropollutant Removal in Drinking Water. In: MALLEVILLE J., SUFFET, I. H., CHAN, U.S., eds. *Influence and Removal of Organic in Drinking Water*, Florida: Lewis Publishers, p.265-277.
- DUSSERT, B.W. & VAN STONE, G.R., (1994) The Biological Activated Carbon Process for Water Purification, *WATER/Engineering & Management*, dec.
- DUSSERT, B.W. & TRAMPOSCH, W.G. (1996). Impact of Support Media and Properties on the Biological Treatment of drinking Water. In: GRAHAM, N., COLLINS, R. eds. *Advances in Slow Sand and Alternatives Biological Filtration*. 1. Ed. England:John Wiley & Sons, p.168-176.
- EDZWALD, J. K., BECKER, W. C., WATTIER, K. L. (1985). Surrogate Parameters for Monitoring Organic Matter and THM Precursors, *Journal American Water Works*, april, p.122-132.

- ECKENFELDER, W.W.; WILLIAMS, Jr. T.; SCHLOSSNAGLE, G. (1972) Applications of New Concepts of Physical-Chemical Wastewater Treatment, p.159-166.
- EIGER, S. FERREIRA, F., S. S. LAGE, F. F. A. (1998). Modelagem matemática de sistemas de ozonização de contato. Parte I: Formulação Teórica. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v.3, n. 1, jan/mar,
- ESCOBAR, I. C & RANDALL, A. A. (2001). Case study: Ozonation and distribution system biotability, *Journal AWWA*, oct., p.77-89.
- FEAKIN, S. J.; BLACKBURN, E.; BURNS, R.G. (1994) Biodegradation of s-Triazine herbicides at low concentrations in surface waters, *Wat. Res.*, v. 28, n11, p. 2289-2296.
- FERGUSON, D.W., GRAMITH, J.T., MCGUIRE, M.J. (1991). Applying Ozone for Organics Control and Disinfection: A Utility Perspective. *Journal American Water Works*, p.32-39, maio.
- FOSTER, D. M., RACHWAL, A J., WHITE, S. L. (1991). New Treatment Processes for Pesticides and Chlorinated Organics Control in Drinking Water. *J.IWEM*, p.466-477.
- GRAHAM, N.J.J. (1999) Removal of Humic Substances by oxidation/biofiltration processes – A review. *Water Science & Technology*, v.40, n.9, p.151-158.
- GREAVES, G.F, GRUNDY, P. G.; TAYLOR, G. S. (1988). Ozonation in Slow Sand Filtration for the Treatment of Coloured Upland Waters – Pilot Plant Investigations. . In: GRAHAM, N., COLLINS, R. eds. *Slow Sand Filtration:Recent Developments in Water Treatment Technology*. Ed England:John Wiley & Sons, p.153-162.
- GUNTEN VON, U. & ACERO, J. A. (2001). Caracterization of Oxidation Processes:ozonation and the AOP O_3/H_2O_2 . *Journal AWWA*, p.90-100, october
- HAARHOFF, J.; CLEASBY, J.L (1991). Biological and physical mechanisms in slow sand filtration. In: LOGSDON, G.S.(ed.) *SLOW SAND FILTRATION*, ASCE, NewYork.
- HESPANHOL, I. (1969). Investigação sobre o comportamento e aplicabilidade de filtros lentos no Brasil. São Paulo, 163 p. Tese (Doutorado), Faculdade de Higiene e Saúde Pública, Universidade de São Paulo.
- HOIGNÉ, J. & BADER, H. (1983). Rate constants of reactions of ozone with organic and inorganic compounds in water – I: Non –dissociating organic compounds, *Water Res*, v.30 p.173-183.
- HOPMAN, R. et al. (1998) Impact of natural organic matter (NOM) on drinking-water treatment. *Water Supply*, v.16, n.1/2, p.497-509.
- HUANG, C.M. & BANKS, M.K. (1996). Effect of ozonation on the biodegradability of atrazine in cag columns. *J. Environ. Sci. Health*, B31, v.6, p.1253-1266.
- HUCK, P.M; FEDORAK, P.M.; ANDERSON, W.B; MILNE; FINCH, K.S.; ANDERS, C.; SMITH, D.W.; WILLIAMS. (1989). Role of ozone in the formation and removal of assimilable organic carbon in water treatment. In: Joseph Bollyky (ed) *Ozone in Water Treatment*, Proceedins, Ninth Ozone World Congress, New York, p.29-46
- HULTMAN, B. (1982). Elimination of organic micropollutants. *Water Science and Technology*, v.14, n.12. p.73-86.
- IOA – (1987) Méthod 001/87- International Ozone Association Standardisation Comittee Europe – Iodométric Méthod for the determination of ozone in a process gas.
- JAVARONI, R.C; LANDGRAF, M.D; REZENDE, M.O. (1999) Comportamento dos herbicidas atrazina e alaclor aplicados em solo preparado para o cultivo de cana-de-açúcar. *Química Nova*, v.22, n.1, p.58-64.

- KALKHOFF, S. J. & KILPIN, D. W. (1993) Atrazine Degradation in a Small Stream In Iowa. *Environmental Science Technology*, v.27, p.134-139.
- KEARNEY, P.C.; MULDOON, M.T.; SOMICH, C.J e RUTH, J.M. (1988). Biodegradation of Ozonated Atrazine as a Wastewater Disposal System. *J. Agric. Food Chem.*, v.36. p.1301-1306.
- KRASNER, S. W.; SCLIMENTI, M. J.; COFFEY, B. M. (1993). Testing Biologically Active Filters for Removing Aldehydes Formed During Ozonation. *Journal AWWA*, p.62-71, may.
- LAMBERT, S.D. & GRAHAM, N. J. D. (1995). A comparative evaluation of the effectiveness of potable water filtration processes. *Water SRT - Aqua*, v.44, n.1, p.38-51.
- LAMBERT, S.D.; GRAHAM, J.D.; CRIKK, B. (1996) Degradation of Selected Herbicides In A Lowland surface Water By Ozone And Ozone-Hydrogen Peroxide. *Ozone Science & Engeneering*, v.18, p.251-269.
- LANGLAIS, B; RECKHOW, D.A.; BRINK, D.R.eds (1991). *Ozone in Water Treatment:Aplications and Engineering*. Lewis Publishers, Inc., Chelsea, Micg.
- MALLEVIALLE, J. & DUGUET, J.P. (1988) Comparisons between activatec carbon and slow sand filtration in the treatment of surface water. In: GRAHAM, N. J. D. eds. *Slow Sand Filtration:Recent Developments in Water Treatment Technology*, New York, Jonh Wiley & Sons., pag. 265-280.
- MALLEY, J.P; COLLINS, M.R; EIGHMY, T.T. (1994) The effects of preozonation on slow sand filtration. In: COLLINS, M.R. & GRAHAM, M.J.D. *Slow Sand Filtration:An International Compilation of Recent Scientific and Operational Developments*. London, p.146-176.
- MASTEN, S.J. & DAVIES, S.H.R. (1997). Chemical Oxidation and Reduction. In: FREMAN, H.M. ED.
- MELLO, O. M. T. (1998). *Avaliação do Desempenho da Filtração em Múltiplas Etapas no Tratamento de Águas com Elevadas Concentrações de Algas*. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília.
- MINISTÉRIO DA SAÚDE. Portaria Nº 1469 de 29 de dezembro de 2000. Diário Oficial nº 1, Brasília, 02/01/01, Seção 1, pág.19 e Diário Oficial nº 7, Brasília, 10/01/01, Seção 1, pág. 26.
- MILTNER, R.J., SHUKAIRY, H.M., SUMMERS R.S. (1992). Disinfection By-product Formation and Control by Ozonation and Biotreatment. *Journal AWWA*, . p. 53-62, nov.
- NSABIMANA, E.; BOHATIER, J; BELAN, A.; , D.; CHARLES, L. (1996). Effects of the herbicide atrazine on the activatec sludge process : microbiology and functional views, *Chemosphere*, v. 33, n.3, p.479-494.
- Standard Handbook of hazardous waste treatment and disposal, 2ed. McGraw Hill, N.Y., cap 7.
- ODEGAARD, H. (1996). The development of Ozonation/Biofiltration Process for the Removal of Humic Substances. In:GRAHAM, N., COLLINS, R. eds. *Advances in Slow Sand and Alternatives Biological Filtration*. 1. Ed. England:John Wiley & Sons, p.39-49.
- ORLANDINI, E.; GEBERESELAASSIE, T.G.; KRUITHOF, J.C.; SCHIPPERS, J.C. (1997) Effect of ozonation on preloading of background organic matter in granular activated carbon filters. *Wat. Sci. Tech.* v. 35, n.7, p.295-302.
- PAGE, R.G; COLLINS, M.R.; BAUER, M.J.; RACHWAL, A.J. (1966) NOM removals by "CAG Sandwich"TM Modification to Slow Sand Filtration. In: GRAHAM, N. J. D. eds. *Slow Sand Filtration:Recent Developments in Water Treatment Technology*, Chichester, England:Ellis Horwood Limited, p. 267-276.
- PROBER, R., & PYEHA, J. (1975). Iteration of Activated Carbon with dissolved Oxygen, *AIChE*, v. 21, n.6, p.1200-1204.

PROSAB - PROGRAMA DE PESQUISA EM SANEAMENTO BÁSICO, (1999). *Tratamento de Águas de Abastecimento por Filtração em Múltiplas Etapas*. Rio de Janeiro.

RACHWAL A.; RODMAN, J.W. e ZABEL, T. (1985). Upgrading and Upgrading slow sand filter by pre-ozonation. *Et and Water Treatment Journal*, p.143-149, may.

RACHWAL, J. M.; BAUER, E.J.T.; WEST, J. T. (1988). Advanced Techniques for Upgrading Large Scale Slow Sand Filters. In: GRAHAM, N. J. D. eds. *Slow Sand Filtration:Recent Developments in Water Treatment Technology*, Chichester, England:Ellis Horwood Limited, p

RACHWAL, J. M. (1996). Comparisons Between Slow Sand and High Rate Biofiltration. In: GRAHAM, N.;COLLINS, R. eds. *Advances in Slow Sand and Alternative Biological Filtration*. 1. Ed England:John Wiley & Sons, p.3-10.

RICE, R.G.; ROBSON, C.M.; MILLER, G.W.; HILL, A.C. (1981). Uses of ozone in drinking water treatment. *Journal AWWA*, p.44-57, Jan.

RICE, R.G. (1990). Ozone Oxidation Products – Implications of Drinking Treatment, In: RICHARD, LARSON. ed *Biohazards of Drinking Water Treatment*, 2ed. USA:Lewis.

RICHARD, Y. & DUGUET, J.P. (1991). Pesticides et eau potable. *Tribune de L eau*, n 552/4, p.25-28, juil/aout.

RITTMANN, B. E. (1985). Biological Processes and Organic Micropolutants in Treatment Processes. *The Science of the Environment*, n.47, p.99-113.

RITTMANN, B. E. & HUCK, P. M. (1989). Biological Treatment of Public Water Supplies. *Critical Reviews in Environmental Control*, v.19, n.2.

RITTMANN, B.E. & MANEM, J. (1992). Removal of Synthetic and Natural Organic Compounds by Biological Filtration. In: MALLEVIALLE, J; SUFFET, I.H; CHAN, U.S. eds. *Influence and Removal of Organics in Drinking Water*, p.289-298. Lewis Publishers, N.Y.

SAKODA, A.; WANG, J.; SUZUKI, M. (1996) Microbial activity in biological activatec carbon bed by pulse responses, *Wat. Sci. Tech*, vol. 34, nº5-6, p. 213-22.

SANTISTEBAN, A . M.J. (1999) Caracterização do ácido húmico extraído de vermicomposto e estudo de adsorção/dessorção deste e outras matrizes com o herbicida atrazina (Dissertação) – IQSC, São Carlos, SP, Brasil,

SCHLATER, L. S., ESTERLINE, D. T., EWING, E. (2000) Bioremediation of the Herbicide Atrazine, disponível em <http://heidelberg.edu/dpts/chm/atrazine.html> em 05/07/01.

SERVAIS, et al. (1987). Determination of Biodegradable Fraction of Dissolved Organic Matter in Waters. *Wat. Res.*, v.21, p.445-450.

SUNDER, M.; HEMPEL, D.C. (1997). Oxidation of tri-and perchloethene in aqueous solution with ozone and hydrogen peroxide in a tube reactor. *Wat. Res*, v.31, n.1, p.33-40.

SINGER, P.C. (1990). Assessing Ozonation Research Needs in Water Treatment., *Journal AWWA*, p.78-88, out.

SLATER, D. McNEILLIE, A. REDMAYNE, W.H. (1985). The use of a combination of ozone and hydrogen peroxide in the oxidation of some organic compounds. In: PERRY R. E McIntIRE, A E. eds. *The role of ozone in water and wastewater treatment*. P.136-161, London.

THURMAN, E . M.; MEYER, M.T.; MILLS, M.S.; ZIMMERMAN, L.R.; PERRY, C.A . (1994) Formation and Transport of Deethylatrazinae and Deisopropylatrazine in Surface Water. *Environ. Sci. Technol.*, v.28, n.13, p.2267-2277.

UETA, J.; SHUHAMA, N.L.; CERDEIRA, A. L. (2001). Biodegradação de herbicidas e biorremediação: microrganismos degradadores de atrazina provenientes de solos da Região Do Aquífero Guarani, Revista Plantio Direto, disponível em <http://plantiodireto.com.br/> acesso em 11/12/01.

URFER, D. & HUCK, P.M. (1997) Effects of Hydrogen Peroxide Residuals on Biologically Active Filter, *Ozone Science & Engineering*, v.19, p.371-386.

VARESCHE, M.B.A. (1989). *Estudo sobre a interferência de algas no sistema de filtração lenta em areia*. São Carlos. 2v. Dissertação (mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

VANDERLOOP, S.I.; SUIDAN, M. T.; BERCHTOLD S.R.; MOTELEB, M.A.; MALONEY, S. W. (1997), *Wat. Sci. Tech.*, v.35, n.7, p.197-204.

VERAS, L.R.V. (1999). Tratamento de água Superficial por Meio de Diferentes Alternativas de Filtração em Múltiplas Etapas. Tese de Doutorado apresentada a Escola de Engenharia de São Carlos, SP.

VIDIC, R.D. & SULDAN, M.T., (1991). Role of Dissolve Oxygen on the Adsorptive Capacity of Activated Carbon for Synthetic and Natural Organic Matter, *Environ. Sci. Technol.*, v.25, p.1612-1618.

VISSHER, J.T.; PARAMASIVAM, R.; RAMAN, A, HEILNEM, H.A. (1996). Filtracion Lenta en Arena – Tratamiento de Agua para Comunidades: Planeación, diseño, construcción, operación y mantenimiento. IRC, Holanda e CINARA, Colômbia, 163p.

VITALI, p. et al. (1994). Determination of triazines and dinitroanilines in waters by high-performance liquid chromatography after soli-phase extraction. *Journal of Chromatography A*, n.660, p.219-222.

XIAOJIAN, Z.; ZHANGSHENG, W.; XIASHENG, GU. (1991) Sample combination or biodegradation and carbon adsorption – the mechanism of the biological activated carbon process, v.25, n.2, p.165-172,

YORDANOV, R.V.; LAMB, A.J.; MELVIN, M.A.L.; KUTTKEJOHN, J. (1996). Biomass Characteristics of Slow Sand Filter Receiving Ozonated Water. In GRAHAM, N., COLLINS, R. eds. *Advances in Slow Sand and Alternative Biological Filtration*. 1. Ed. England:John Wiley & Sons, p.107-118.

WOLF, DC. & MARTIN, J.P. (1975). Microbial Decomposition of Ring-¹⁴C Atrazine, Cyanuric Acid, and 2-Chloro-4,6-diamino-s-triazine¹. *J.Environ. Qual.*, v.4, n.1, p.134-139.

WOUDNEH, B. J.; LLOYD, B.J.; STEVENSON, D. (1996). Removal of Herbicides by Biological Filter. In: GRAHAM, N., COLLINS, R. eds. *Advances in Slow Sand and Alternative Biological Filtration*. 1. Ed. England:John Wiley & Sons, p.211-221.

WRICKE, et al. (1996). NOM – Removal of Biofiltration After Ozonation – Results of a Pilot Plant Test. In: GRAHAM, N., COLLINS, R. eds. *Advances in Slow Sand and Alternative Biological Filtration*. 1. Ed England:John Wiley & Sons, p.51-60.

ZELT, R.B. & STAMER, J. K. (1994). Organonitrogen herbicides in the lower Kansas River basin. *Journal AWWA*, p.93-104, jan.