

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL,
ARQUITETURA E URBANISMO

**FILTRAÇÃO LENTA EM AREIA, MANTA
NÃO TECIDA E CARVÃO ATIVADO COMO
PÓS-TRATAMENTO DE EFLUENTES
DOMÉSTICOS E REUSO**

DANILO APARECIDO FAVERI MARRARA

Prof. Dr. JOSÉ EUCLIDES STIPP PATERNIANI
orientador

CAMPINAS

2005

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL,
ARQUITETURA E URBANISMO

**FILTRAÇÃO LENTA EM AREIA, MANTA
NÃO TECIDA E CARVÃO ATIVADO COMO
PÓS-TRATAMENTO DE EFLUENTES
DOMÉSTICOS E REUSO**

Dissertação apresentada à
Faculdade de Engenharia Civil,
Arquitetura e Urbanismo da
Universidade Estadual de
Campinas, como parte dos
requisitos para obtenção do título
de Mestre em Engenharia Civil
na área de Saneamento e
Ambiente.

DANILO APARECIDO FAVERI MARRARA
Prof. Dr. JOSÉ EUCLIDES STIPP PATERNIANI
Orientador

CAMPINAS

2005

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP

M348f Marrara, Danilo Aparecido Faveri
Filtração lenta em areia, manta não tecida e carvão ativado como
pós-tratamento de efluentes domésticos e reuso / Danilo Aparecido
Faveri Marrara.--Campinas, SP: [s.n.], 2005.

Orientador: José Euclides Stipp Paterniani
Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas,
Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo.

1. Águas residuais – Purificação - Filtração. 2. Carbono ativado.
3. Água - Reutilização. 4. Águas residuais. I. Paterniani, José
Euclides Stipp. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade
de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. III. Título.

Titulo em Inglês: Slow sand filtration with non woven synthetic fabric and activated carbon as
after treatment of domestic sewer effluent and reuse

Palavras-chave em Inglês: slow sand filtration, Activated carbon, Water reuse

Área de concentração: Saneamento e Ambiente.

Titulação: Mestre em Engenharia Civil

Banca examinadora: Marco Roberto Pires e Ricardo Lima Isaac

Data da defesa: 24/02/2006

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E
URBANISMO

**FILTRAÇÃO LENTA EM AREIA, MANTA NÃO TECIDA E
CARVÃO ATIVADO COMO PÓS-TRATAMENTO DE
EFLUENTES DOMÉSTICOS E REUSO**

Danilo Aparecido Faveri Marrara

Dissertação de Mestrado aprovada pela Banca Examinadora,
constituída por:

Prof. Dr. José Euclides Stipp Paterniani
Presidente e Orientador/UNICAMP

Prof. Dr. Marco Roberto Pires

Prof. Dr. Ricardo Lima Isaac
UNICAMP

Campinas, 24 de fevereiro de 2006

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. José Euclides Stipp Paterniani pela inestimável orientação deste trabalho.

Aos professores Prof. Dr. Denis Miguel Roston, Prof. Dr. Ricardo Lima Isaac e Prof. Dr. Edson Abdul Nour pelas sugestões e contribuições.

A Marcelo Moreira da Silva, amigo nesta jornada.

À Melina Barboza pela ajuda com as coletas e os dados.

Aos técnicos Enelton e Marco do Laboratório de Saneamento da FEC e ao Túlio e Gelson pela ajuda.

À Paula e aos funcionários da seção de pós-graduação da FEC pela atenção e simpatia.

A todos que, de uma forma ou de outra contribuíram para a realização deste trabalho.

Aos amigos, por todos os momentos compartilhados.

A Adriana e Gabriel que moram no meu coração.

Aos meus pais pelo apoio e incentivo.

À FAPESP pela concessão de auxílio financeiro.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	10
LISTA DE TABELAS	12
RESUMO	15
SUMMARY	16
1. INTRODUÇÃO	17
2. OBJETIVOS	20
2.1. Objetivo geral	20
2.2. objetivos específicos	20
3. REVISÃO DA LITERATURA	21
3.1. Qualidade da água	21
3.2. Reuso da água e escassez	22
3.2.1. Reuso da água	22
3.2.2. Escassez da água no mundo	25
3.3. Leitões cultivados	26
3.4. Tecnologia de filtração lenta e filtração em múltiplas etapas	27
3.4.1. Filtros lentos	27
3.4.2. Filtração em múltiplas etapas	29
3.4.3. Adsorção em carvão ativado granular	32
4. MATERIAIS E METODOS	34
4.1. Localização do experimento	34
4.2. Dados do afluente e das condições experimentais	34
4.3. Sistema de filtração	35
4.3.1. Pré-filtro de fluxo ascendente	35
4.3.2. Filtros lentos	39
4.3.2.1. Filtro lento de areia e manta não tecida	39
4.3.2.2. Filtro lento de areia e manta com camada de carvão ativado	40
4.3.2.3. Meio filtrante	43
4.4. Ensaio realizados	45
4.4.1. Metodologia e equipamentos utilizados	46
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
5.1. Dados do afluente e das condições experimentais	48
5.2. Ensaio 1	51
5.2.1. Taxa de filtração	51
5.2.2. Perda de carga	51
5.2.3. Sólidos em suspensão	52
5.2.4. Turbidez	52
5.2.5. Cor aparente	54
5.2.6. Demanda química de oxigênio	55
5.2.7. Coliformes totais e <i>E. coli</i>	55
5.2.8. Ferro total	56
5.2.9. Manganês total, pH, temperatura e oxigênio dissolvido	57
5.3. Ensaio 2	59
5.3.1. Taxa de filtração	59
5.3.2. Perda de carga	59
5.3.3. Sólidos em suspensão	60

5.3.4. Turbidez	60
5.3.5. Cor aparente	61
5.3.6. Coliformes totais e <i>E. coli</i>	62
5.3.7. Ferro total	63
5.3.8. Parâmetros de pequena variação	63
5.3.8.1. Manganês	63
5.3.8.2. pH	64
5.3.8.3. Temperatura	64
5.3.8.4. Oxigênio dissolvido	65
5.4. Ensaio 3	66
5.4.1. Taxa de filtração	66
5.4.2. Perda de carga	66
5.4.3. Sólidos em suspensão	67
5.4.4. Turbidez	67
5.4.5. Cor aparente	69
5.4.6. Demanda química de oxigênio	70
5.4.7. Coliformes totais e <i>E. coli</i>	70
5.4.8. Ferro total	71
5.4.9. Parâmetros de pequena variação	72
5.4.9.1. Manganês	72
5.4.9.2. pH	72
5.4.9.3. Temperatura	72
5.4.9.4. Oxigênio dissolvido	73
5.5. Ensaio 4	74
5.5.1. Taxa de filtração	74
5.5.2. Perda de carga	74
5.5.3. Sólidos em suspensão	75
5.5.4. Turbidez	76
5.5.5. Cor aparente	77
5.5.6. Demanda química de oxigênio	78
5.5.7. Coliformes totais e <i>E. coli</i>	79
5.5.8. Ferro total	80
5.5.9. Parâmetros de pequena variação	80
5.5.9.1. Manganês	80
5.5.9.2. pH	80
5.5.9.3. Temperatura	81
5.5.9.4. Oxigênio dissolvido	81
5.6. Ensaio 5	82
5.6.1. Taxa de filtração	82
5.6.2. Perda de carga	82
5.6.3. Sólidos em suspensão	84
5.6.4. Turbidez	84
5.6.5. Cor aparente	85
5.6.6. Demanda química de oxigênio	86
5.6.7. Coliformes totais e <i>E. coli</i>	87
5.6.8. Ferro total	88
5.6.9. Parâmetros de pequena variação	88

5.6.9.1. Manganês	88
5.6.9.2. pH	88
5.6.9.3. Temperatura	89
5.6.9.4. Oxigênio dissolvido	89
5.7. Ensaio 6	90
5.7.1. Taxa de filtração	90
5.7.2. Perda de carga	90
5.7.3. Sólidos em suspensão	91
5.7.4. Turbidez	92
5.7.5. Cor aparente	93
5.7.6. Demanda química de oxigênio	94
5.7.7. Coliformes totais e <i>E. coli</i>	94
5.7.8. Ferro total	95
5.7.9. Parâmetros de pequena variação	95
5.7.9.1. Manganês	95
5.7.9.2. pH	95
5.7.9.3. Temperatura	96
5.7.9.4. Oxigênio dissolvido	97
5.8. Discussão	97
5.8.1. Taxa de filtração	97
5.8.2. Perda de carga	98
5.8.3. Sólidos em suspensão	99
5.8.4. Turbidez	99
5.8.5. Cor aparente	100
5.8.6. Demanda química de oxigênio	102
5.8.7. Coliformes totais e <i>E. coli</i>	103
5.8.8. Ferro total	105
5.8.9. Parâmetros de pequena variação	105
5.8.9.1. Manganês	105
5.8.9.2. pH	106
5.8.9.3. Temperatura	106
5.8.9.4. Oxigênio dissolvido	107
5.9. Comparação dos resultados com os padrões descritos por NAKAYAMA E BUCKS (1986) para água de irrigação e risco de entupimento de gotejadores	108
5.9.1. Sólidos em suspensão	108
5.9.2. pH	108
5.9.3. Ferro	108
5.9.4. Manganês	108
5.9.5. População bacteriana	109
5.10. Comparação dos resultados com a Resolução CONAMA 357/2005	109
5.11. Influência do uso do carvão ativado granulado num filtro lento de areia e manta	110
6. CONCLUSÃO	112
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	113

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Tanque séptico compartimentado (in VALENTIN, 2003)	35
Figura 2. Esquema construtivo do pré-filtro	36
Figura 3. Esquema do dosador do pré-filtro	37
Figura 4. Foto do dosador do pré-filtro de pedregulho	37
Figura 5. Esquema em planta da instalação piloto com os pontos de coleta para análise	38
Figura 6. Esquema do filtro lento piloto	39
Figura 7. Esquema do filtro lento piloto com carvão ativado	40
Figura 8. Esquema da caixa de derivação de entrada dos filtros lentos	41
Figura 9. Foto da caixa de derivação de entrada dos filtros lentos	41
Figura 10. Esquema da instalação para coleta do efluente dos filtros lentos	42
Figura 11. Foto do sistema de coleta do efluente dos filtros lentos	42
Figura 12. Foto da instalação piloto	43
Figura 13. Curva granulométrica da areia dos filtros	44
Figura 14. Curva granulométrica do carvão ativado	45
Figura 15. Foto do carvão ativado	45
Figura 16. Valores médios de temperatura, OD, pH e sólidos em suspensão do afluente ensaiado	49
Figura 17. Valores médios de coliformes totais e fecais no afluente dos ensaios	49
Figura 18. Valores médios de ferro e manganês totais no afluente ensaiado	50
Figura 19. Valores médios de turbidez, cor aparente e DQO no afluente dos ensaios	50
Figura 20. Evolução da perda de carga dos filtros lentos durante a carreira do 1º ensaio	51
Figura 21. Valores de turbidez das amostras coletadas no pré-filtro e filtros lentos no 1º ensaio	53
Figura 22. Valores de cor aparente das amostras coletadas no pré-filtro e filtros lentos no 1º ensaio	54
Figura 23. Valores de pH no 1º ensaio	57
Figura 24. Valores de temperatura no 1º ensaio	58
Figura 25. Evolução da perda de carga dos filtros lentos durante a carreira do 2º ensaio	59
Figura 26. Valores de turbidez das amostras coletadas no pré-filtro e filtros lentos no 2º ensaio	60
Figura 27. Valores de cor aparente das amostras coletadas no pré-filtro e filtros lentos no 2º ensaio	61
Figura 28. Valores de pH no 2º ensaio	64
Figura 29. Valores de temperatura no 2º ensaio	65
Figura 30. Evolução da perda de carga dos filtros lentos durante a carreira do 3º ensaio	66
Figura 31. Valores de turbidez das amostras coletadas no pré-filtro e filtros lentos no 3º ensaio	68
Figura 32. Valores de cor aparente das amostras coletadas no pré-filtro e filtros lentos no 3º ensaio	69

Figura 33. Valores de pH no 3º ensaio	72
Figura 34. Valores de temperatura no 3º ensaio	73
Figura 35. Evolução da perda de carga dos filtros lentos durante a carreira do 4º ensaio	75
Figura 36. Valores de turbidez das amostras coletadas no pré-filtro e filtros lentos no 4º ensaio	76
Figura 37. Valores de cor aparente das amostras coletadas no pré-filtro e filtros lentos no 4º ensaio	77
Figura 38. Valores de pH no 4º ensaio	80
Figura 39. Valores de temperatura no 4º ensaio	81
Figura 40. Evolução da perda de carga dos filtros lentos durante a carreira do 5º ensaio	83
Figura 41. Valores de turbidez das amostras coletadas no pré-filtro e filtros lentos no 5º ensaio	84
Figura 42. Valores de cor aparente das amostras coletadas no pré-filtro e filtros lentos no 5º ensaio	85
Figura 43. Valores de pH no 5º ensaio	88
Figura 44. Valores de temperatura no 5º ensaio	89
Figura 45. Evolução da perda de carga dos filtros lentos durante a carreira do 6º ensaio	89
Figura 46. Valores de turbidez das amostras coletadas no pré-filtro e filtros lentos no 6º ensaio	91
Figura 47. Valores de cor aparente das amostras coletadas no pré-filtro e filtros lentos no 6º ensaio	92
Figura 48. Valores de pH no 6º ensaio	93
Figura 49. Valores de temperatura no 6º ensaio	96
Figura 50. Valores médios de cor aparente	102
Figura 51. Valores médios de concentração de manganês	106

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Classificação das águas doces em função dos uso preponderantes do CONAMA 357/2005	22
Tabela 2. Classificação da água de irrigação e risco de entupimento dos & gotejadores, segundo NAKAYAMA BUCKS(1986)	23
Tabela 3. Características gerais da água bruta em função do arranjo da FiME	30
Tabela 4. Valores Máximos recomendados para 100% das amostras em sistemas de filtração lenta e filtração em múltiplas etapas	31
Tabela 5. Características das mantas sintéticas não tecidas para filtros lentos	32
Tabela 6. Meio filtrante do pré-filtro de pedregulho (adaptado de DI BERNARDO et al., 1999)	36
Tabela 7. Parâmetros obtidos do ensaio de granulometria da areia utilizada nos filtros	44
Tabela 8. Ensaio realizados, intervalo entre as análises e seus respectivos pontos de coleta, conforme a Figura 12	46
Tabela 9. Dados das amostras de água afluyente	48
Tabela 10. Valores Médios, Máximos e Mínimos de Concentração de Sólidos em Suspensão no Pré-Filtro e Filtros Lentos no 1º Ensaio	52
Tabela 11. Valores médios, máximos e mínimos de turbidez no pré-filtro e filtros lentos no 1º ensaio	53
Tabela 12. Valores Médios, Máximos e Mínimos de Eficiência de Remoção de Cor Aparente no Pré-Filtro e Filtros Lentos no 1º Ensaio	55
Tabela 13. Valores médios, máximos e mínimos de concentração de coliformes totais e <i>E.Coli</i> no Pré-Filtro e Filtros Lentos no 1º Ensaio	55
Tabela 14. Valores médios de eficiência de remoção de coliformes totais e <i>E.Coli</i> no pré-filtro e filtros lentos no 1º Ensaio	56
Tabela 15. Valores de oxigênio dissolvido no 1º Ensaio	58
Tabela 16. Valores médios, máximos e mínimos de turbidez no pré-filtro e filtros lentos no 2º Ensaio	61
Tabela 17. Valores médios, máximos e mínimos de eficiência de remoção de cor aparente no pré-filtro e filtros lentos no 2º Ensaio	62
Tabela 18. Valores médios, máximos e mínimos de concentração de coliformes totais e <i>E.Coli</i> no pré-filtro e filtros lentos no 2º Ensaio	62
Tabela 19. Valores médios de eficiência de remoção de coliformes totais e <i>E.Coli</i> no pré-filtro e filtros lentos no 2º ensaio	63
Tabela 20. Valores de Oxigênio Dissolvido no 2º Ensaio	65
Tabela 21. Valores Médios, Máximos e Mínimos de Concentração de Sólidos em Suspensão no Pré-Filtro e Filtros Lentos no 3º ensaio	67
Tabela 22. Valores médios, máximos e mínimos de turbidez no pré-filtro e filtros lentos no 3º Ensaio	68
Tabela 23. Valores Médios, Máximos e Mínimos de Eficiência de Remoção de Cor Aparente no Pré-Filtro e Filtros Lentos no 3º Ensaio	69
Tabela 24. Valores Médios, Máximos e Mínimos de Demanda Química de Oxigênio no Pré-Filtro e Filtros Lentos no 3º Ensaio	70
Tabela 25. Valores médios, máximos e mínimos de concentração de coliformes totais e <i>E.Coli</i> no pré-filtro e filtros lentos no 3º Ensaio	70

Tabela 26. Valores Médios de Eficiência de Remoção de Coliformes Totais e <i>E.Coli</i> no pré-filtro e filtros lentos no 3º Ensaio	71
Tabela 27. Valores de oxigênio dissolvido no 3º Ensaio	74
Tabela 28. Valores médios, máximos e mínimos de concentração de sólidos em suspensão no pré-filtro e filtros lentos no 4º Ensaio	76
Tabela 29. Valores médios, máximos e mínimos de turbidez no pré-filtro e filtros lentos no 4º Ensaio	77
Tabela 30. Valores médios, máximos e mínimos de eficiência de remoção de cor aparente no pré-filtro e filtros lentos no 4º Ensaio	78
Tabela 31. Valores médios, máximos e mínimos de demanda química de oxigênio no pré-filtro e filtros lentos no 4º Ensaio	78
Tabela 32. Valores médios, máximos e mínimos de concentração de coliformes totais e <i>E.Coli</i> no pré-filtro e Filtros lentos no 4º Ensaio	79
Tabela 33. Valores médios de eficiência de remoção de coliformes totais e <i>E.Coli</i> no pré-filtro e filtros lentos no 4º Ensaio	79
Tabela 34. Valores de oxigênio dissolvido no 4º Ensaio	82
Tabela 35. Valores médios, máximos e mínimos de concentração de sólidos em suspensão no pré-filtro e filtros lentos no 5º Ensaio	84
Tabela 36. Valores médios, máximos e mínimos de turbidez no pré-filtro e filtros lentos no 5º Ensaio	85
Tabela 37. Valores médios, máximos e mínimos de eficiência de remoção de cor aparente no pré-filtro e filtros lentos no 5º Ensaio	86
Tabela 38. Valores médios, máximos e mínimos de demanda química de oxigênio no pré-filtro e filtros lentos no 5º Ensaio	86
Tabela 39. Valores médios, máximos e mínimos de concentração de coliformes totais e <i>E.Coli</i> no pré-filtro e filtros lentos no 5º Ensaio	87
Tabela 40. Valores médios de eficiência de remoção de coliformes totais e <i>E.Coli</i> no pré-filtro e filtros Lentos no 5º Ensaio	87
Tabela 41. Valores de oxigênio dissolvido no 5º Ensaio	90
Tabela 42. Valores médios, máximos e mínimos de concentração de sólidos em suspensão no pré-filtro e filtros lentos no 6ª Ensaio	91
Tabela 43. Valores médios, máximos e mínimos de turbidez no pré-filtro e filtros lentos no 6º Ensaio	92
Tabela 44. Valores médios, máximos e mínimos de eficiência de remoção de cor aparente no pré-filtro e filtros lentos no 6º Ensaio	93
Tabela 45. Valores médios, máximos e mínimos de demanda química de oxigênio no pré-filtro e filtros lentos no 6º Ensaio	94
Tabela 46. Valores médios, máximos e mínimos de concentração de coliformes totais e <i>E.Coli</i> no pré-filtro e filtros lentos no 6º Ensaio	94
Tabela 47. Valores médios de eficiência de remoção de coliformes totais e <i>E.Coli</i> no pré-filtro e filtros lentos no 6º Ensaio	95
Tabela 48. Valores de oxigênio dissolvido no 6º Ensaio	97
Tabela 49. Taxa de filtração média dos ensaios e média geral	98
Tabela 50. Concentrações médias de sólidos em suspensão dos ensaios e média geral	99
Tabela 51. Turbidez média dos ensaios e média geral	100
Tabela 52. Cor aparente média dos ensaios e média geral	101

Tabela 53. Demanda química de oxigênio (DQO) médias dos ensaios e média geral	102
Tabela 54. Concentração de coliformes totais médias dos ensaios e média geral	103
Tabela 55. Concentração de E.Coli médias dos ensaios e média geral	103
Tabela 56. Eficiência média de remoção de coliformes totais dos ensaios e média geral	104
Tabela 57. Eficiência média de remoção de E.Coli dos ensaios e média geral	104
Tabela 58. Média das concentração de ferro total dos ensaios e média geral	105
Tabela 59. Temperatura Média dos Ensaios e média geral	107
Tabela 60. Concentração de Oxigênio Dissolvido média dos ensaios e média geral	107

RESUMO

A filtração lenta é uma alternativa viável para regiões rurais afastadas dos grandes centros urbanos que necessitam de um sistema de tratamento de água de baixo custo de implantação, assim, presente trabalho avaliou a eficiência e o desempenho da filtração lenta em uma instalação piloto de filtração em areia e manta não tecida, e carvão ativado, precedida de um pré-filtro em pedregulho para tratamento de efluente de um sistema composto um de reator anaeróbio compartimentado e de leitos cultivados (wetlands) para tratamento de esgoto doméstico. Ênfases específicas foram dadas na avaliação da Filtração Lenta com meio filtrante de areia e manta não tecida e meio filtrante de areia com camada de carvão ativado granular e manta não tecida. Para uma taxa de filtração média de $3 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$, obteve-se uma eficiência média na remoção de sólidos em suspensão de 36,2% para o filtro lento de carvão e areia e manta não tecida e 28,2% para o filtro lento de areia e manta não tecida. A eficiência na remoção de turbidez foi de 43,2% no filtro de carvão e areia e manta não tecida e 33,2% no filtro de areia e manta não tecida. Para a cor obteve-se uma eficiência média de 39,3% para o filtro lento com camada de carvão e areia e manta não tecida e 26,0% para o filtro lento de areia e manta não tecida. A eficiência média na remoção de coliformes totais foi de 74,6% para o filtro lento de carvão e areia e manta não tecida e de 57,6% para o filtro lento de areia e manta não tecida. A remoção média de *E.coli* foi de 72,7% para o filtro lento de carvão e areia e manta não tecida e de 70,8% para o filtro lento de areia e manta não tecida. Devido à simplicidade de construção e operação, o filtro lento de carvão e areia e manta não tecida pode ser aplicado para tratamento de efluentes domésticos em pequenas comunidades bem como pode ser utilizado para melhorar a qualidade de um efluente a ser lançado em corpos d'água ou se utilizar desta tecnologia simples para tratar água para fins de reuso.

PALAVRAS-CHAVE: filtração lenta, carvão ativado, reuso da água.

SUMMARY

The slow sand filtration is a viable economic alternative for small communities moved away from the great urban centers. This work evaluated the efficiency of a slow filter with sand layer, activated carbon and non-woven synthetic fabric, compared with a slow filter of sand and non-woven synthetic fabric to treat constructed wetland effluent. The results had shown the removal of 74,6% of total coliforms for the slow sand filter with activated carbon and 57.6% for the slow sand filter without activated carbon. The solid reduction was 36,2% for the filter with activated carbon and 26.2% for the filter without activated carbon. For the turbidity, the reduction of 43,2% for the filter with activated carbon against 33,2% for the filter without activated carbon, and for color the filter with activated carbon got 39.3% of efficiency against 26,0% for the filter without activated carbon. Due to simplicity of construction and operation, the slow sand filter with activated carbon, sand and non-woven synthetic fabric can be applied for treatment of domestic sewer in small communities and can be used to improve the quality of an effluent to be launched in water or use this simple technology to water treatment and water reuse.

KEY WORDS: slow filtration, activated carbon, water reuse.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, o foco das atenções tem se voltado para o suprimento de água potável, a qual é um elemento essencial para todas as formas de vida e tem-se mostrado limitado, provando ser um recurso finito. Nos dias atuais são cada vez mais constantes as discussões entre organizações, instituições acadêmicas e científicas e autoridades governamentais sobre a escassez iminente dos recursos hídricos em nosso planeta.

Os antigos filósofos gregos já afirmavam que tudo provem da água. Seu papel no desenvolvimento da civilização é reconhecido desde a mais alta antiguidade; Hipócrates (460-354 a.C.) já afirmava: “a influência da água sobre a saúde é muito grande” A ciência, por sua vez, tem demonstrado que a vida se originou na água e que ela constitui a matéria predominante em todos os corpos vivos.

O Brasil, apesar de sua condição aparentemente confortável comparada a outros países, principalmente ao oriente médio, não pode ficar alheio a essa questão uma vez que os recursos hídricos no Brasil não estão distribuídos de forma homogênea, sendo que já são muitas as regiões brasileiras que sentem os problemas de falta de água e convivem com freqüentes conflitos por essa razão.

Com o advento da revolução industrial, a capacidade do homem em alterar o seu meio ambiente tem se ampliado cada vez mais, verificando que um grande número de substâncias químicas tem sido lançado nos ecossistemas de modo contínuo, causando, em muitos casos, efeitos adversos, tanto às biocenoses presentes na natureza como ao próprio homem (BOHRER, 2000).

As maiores atividades exercidas pelo homem que representam maior risco à contaminação das águas (superficiais e subterrâneas) são as indústrias (geração e disposição inadequada dos resíduos industriais), a geração de resíduos sólidos e líquidos domiciliares e sua disposição incorreta, atividades de mineração, contaminação do lençol freático por líquidos lixiviados provenientes de cemitérios, vazamentos de tancagens e superextração, e atividades agrícolas (utilização de fertilizantes e agrotóxicos).

A água pode ser um elemento natural benéfico ao homem ou um veículo pelo qual microrganismos causadores de doenças ou substâncias tóxicas podem ser amplamente disseminadas.

A veiculação hídrica de microrganismos patogênicos e potencialmente patogênicos é bastante conhecida e documentada, causando doenças que podem levar à morte. Desta forma é necessário, buscar alternativas de tratamentos, sejam eles físicos, químicos ou biológicos para reduzir e/ou remover esses microrganismos.

Segundo dados da Organização Mundial de Saúde, cerca de 80% das doenças que ocorrem em países em desenvolvimento são causadas por problemas de contaminação da água; aproximadamente 15 milhões de crianças numa faixa etária de zero a cinco anos morrem ao ano por problemas de falta ou falhas nos sistemas de abastecimento de água e esgoto; apenas cerca de 30% da população mundial dispõe de água tratada, sendo que os 70% restantes consomem água de poços ou outras fontes que são passíveis de sofrerem contaminação.

A filtração lenta é um processo que promove a passagem de água por um meio granular, geralmente areia, possibilitando a melhoria de suas características químicas, físicas e bacteriológicas. Este sistema apresenta vantagens sobre outras tecnologias, pois não requer uso de produtos químicos, e de simples construção, operação e manutenção. Além disso, não requer mão de obra qualificada para sua operação e apresenta custos geralmente acessíveis a pequenas comunidades, principalmente em países em desenvolvimento (AZEVEDO NETTO E HESPANHOL, 1979).

Esse método de tratamento de águas apresenta algumas vantagens sobre outras tecnologias, sendo desnecessário o emprego de produtos químicos, a exigência de equipamentos sofisticados para operação e controle do processo, também não necessita de operadores qualificados e é de simples construção e manutenção, além de produzir pouco lodo. Essas vantagens aliadas ao uso de materiais alternativos podem reduzir ainda mais os custos iniciais de implantação, operação e manutenção deste sistema, possibilitando um processo de tratamento de água bastante eficiente e acessível a comunidades rurais pouco desenvolvidas e de baixa renda.

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).

Todavia, certa limitação existe quando se usa esta tecnologia, por exemplo, a limpeza dos filtros, que ocorre pela remoção da camada superior dos filtros, o que demanda certo tempo.

Como forma de reduzir o trabalho de limpeza dos filtros lentos, além de torná-los mais eficientes do ponto de vista do aumento da carreira de filtração, alguns autores (MBWETTE E GRAHAN, 1990; DI BERNARDO E ROCHA, 1990; DI BERNARDO, GRAHAN, J. D.; PATERNIANI, J. E. S, 1991 b) pesquisaram o uso de mantas sintéticas não tecidas, colocadas no topo da camada filtrante, onde após o término da carreira de filtração, a manta é removida, lavada e recolocada novamente no filtro, reduzindo-se consideravelmente o tempo e a dificuldade da operação de limpeza dos filtros.

Esses resultados reforçam a viabilidade de se empregar areia de construção como meio filtrante e a possibilidade de se obter boa qualidade do efluente filtrado, principalmente com o uso de mantas não tecidas no topo da camada de areia, proporcionando, assim, um sistema de tratamento eficiente e a um custo mais baixo.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral:

Objetiva-se com esta pesquisa avaliar a eficiência da filtração lenta para tratamento de efluente em uma instalação piloto de filtração em areia e manta, precedida de um pré-filtro em pedregulho para tratamento de efluente de um sistema de reator anaeróbio compartimentado seguido de leitos cultivados de tratamento de esgoto doméstico.

2.2. Objetivos Específicos:

Avaliar da Filtração Lenta pelos parâmetros de cor, turbidez, temperatura, ferro, manganês, sólidos em suspensão, oxigênio dissolvido, coliformes totais e coliformes fecais.

Verificar da influência de uma camada intermediária de carvão granulado na eficiência do filtro lento de areia com manta não tecida

Verificar da a possibilidade de utilização desta tecnologia para atender os padrões de lançamento em corpos d'água (Resolução CONAMA 357/2005);

Verificar da adequação ao reuso do efluente final tratado em sistemas de irrigação localizada, segundo a classificação de risco aos equipamentos emissores proposta por NAKAYAMA & BUCKS (1986).

3. REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Qualidade da água

A qualidade de uma água é definida por sua composição química, física e bacteriológica. As características desejáveis de uma água dependem de sua utilização. Para o consumo humano há a necessidade de uma água pura e saudável, isto é, livre de matéria suspensa visível, cor, gosto e odor, de quaisquer organismos capazes de provocar enfermidades e de quaisquer substâncias orgânicas ou inorgânicas que possam produzir efeitos fisiológicos prejudiciais (RICHTER E AZEVEDO NETTO, 1991).

A qualidade da água deve atender, no mínimo, os padrões exigidos para a finalidade a que estará sendo destinada. Devido às limitações de tecnologia, recursos financeiros e mananciais disponíveis as águas que não são destinadas para abastecimento público, regulamentado pelo padrão de potabilidade da Portaria nº 518 / 2004 do Ministério da Saúde podem ter qualidade inferior, conforme a finalidade a que é destinada.

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, (EDZWALD et al., 1985).

Além do padrão de potabilidade, do Ministério da Saúde, o Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, através da resolução 357/2005, estabelece padrões para classificação dos corpos d'água conforme os usos a que se destinam (Tabela 1) e também para o lançamento de efluentes nesses corpos para evitar a alteração das características de montante do corpo receptor, com o objetivo de preservação dos mananciais superficiais.

Tabela 1. Classificação das Águas Doces em função dos Usos Preponderantes do CONAMA 357/2005.

USO	CLASSES				
	Especial	I	II	III	IV
Abastecimento Doméstico	X(e)	X (a)	X (b)	X (b)	
Preservação das Comunidades Aquáticas	X				
Recreação de Contato Primário		X	X		
Proteção de Comunidades Aquáticas		X	X		
Irrigação		X	X (c)	X (d)	
Aqüicultura		X	X		
Lançamento de Despejos		X	X	X	X
Dessedentação de Animais				X	
Navegação					X
Harmonia Paisagística					X
Usos menos Exigentes					X

(a) após tratamento simples, (b) após tratamento convencional, (c) hortaliças e plantas frutíferas, (d) culturas arbóreas, cerealistas e forrageiras (e) após desinfecção.

3.2. Reuso da água e escassez

3.2.1. Reuso da água

Reuso é o processo de utilização da água por mais de uma vez, tratada ou não, para o mesmo ou outro fim. A grande vantagem da utilização da água de reuso é a de preservar água potável exclusivamente para atendimento de necessidades que exigem a sua potabilidade, como para o abastecimento humano. Dentro dessa ótica, os esgotos tratados têm um papel fundamental no planejamento e na gestão dos recursos hídricos como um substituto para o uso de águas destinadas a fins agrícolas e de

irrigação, entre outros. Ao liberar as fontes de água de boa qualidade para abastecimento público e outros usos prioritários, sem dúvida o uso de esgotos contribui para a conservação dos recursos e acrescenta uma dimensão econômica ao planejamento dos recursos hídricos (MACHADO, 2004).

O reuso de águas para irrigação localizada vem crescendo pela possibilidade de automatização dos sistemas e também pela economia de água em relação aos métodos de irrigação convencional. Para evitar a obstrução dos entupimentos de irrigação localizada NAKAYAMA & BUCKS (1986) propuseram uma classificação quanto ao risco de entupimento de gotejadores, mostrada na Tabela 2.

Tabela 2. Classificação da água de irrigação e risco de entupimento dos gotejadores, segundo NAKAYAMA & BUCKS (1986).

	Baixo	Moderado	Severo
Físico			
Sólidos em suspensão	<50	50 - 100	>100
Químicos			
pH	<7	7 – 8	>8
Sol. Dissolvidos	<500	500 – 2000	>2000
Ferro total	<0,2	0,2 – 1,5	>1,5
Manganês	<0,1	0,1 – 1,5	>1,5
Sulfeto de hidrogênio	<0,2	0,2 – 2,0	>2,0
Biológico			
População bacteriana (NMP mL ⁻¹)	<10000	10000 - 50000	>50000

Obs: as unidades dos parâmetros físicos e químicos, exceto pH, em mg L⁻¹.

Para o uso em irrigação a água deve atender também as características definidas pela Portaria 21 de 19/12/1991, do Centro de Vigilância Sanitária da Saúde do

Estado de São Paulo, que limita para a irrigação em hortaliças e frutas rasteiras ou de consumo “in natura”, o limite de 1000 coliformes fecais em 100mL de amostra.

A implementação bem sucedida de um projeto de reuso de água deve depender da consideração de múltiplos fatores, incluindo saúde pública, aceitação popular, quantidade e qualidade de água requeridas, suprimento confiável e variabilidade de demanda e aspectos econômicos. Em um ambiente urbano, vários níveis de qualidade da água correspondem a diferentes usos, incluindo água para beber, para higiene pessoal, para irrigação de culturas e para limpeza urbana e industrial. O transporte e a distribuição da água recuperada têm uma influência significativa na viabilidade econômica, especialmente em comunidades com densidade populacional de baixa a moderada. A tendência é de que fatores complexos de economia e riscos para a saúde pública tenham um papel principal no processo de tomadas de decisões. (HERMANOWICZ E ASANO, 1999).

O emprego de efluente na irrigação aumenta a oferta hídrica para a agricultura e disponibiliza água para os demais usos. Em regiões áridas e semi-áridas, como Israel, Líbano e países vizinhos, segundo ANGELAKIS (1999), a irrigação com efluentes é uma forma de reduzir o consumo de água na agricultura. Tal fato conduz a um melhor compartilhamento da água para abastecimento humano e para os demais usos. FRIEDLER (1999), registra que, num futuro próximo, em Jeezrael Valley, Israel, esta modalidade poderá corresponder à cerca de 80% de toda a irrigação local.

A agricultura depende de suprimento de água, numa escala tal, que a continuidade da produção de alimentos não poderá ser mantida sem o desenvolvimento de novas fontes de fornecimento e a gestão adequada dos recursos hídricos. Esta condição crítica fundamenta-se no fato de que o aumento da produção não pode mais ser efetuado apenas pela expansão de área cultivada. Com poucas exceções, as terras aráveis, em escala planetária, se aproximam, muito rapidamente, de seus limites (SOUZA, 2004).

3.2.2. Escassez da água no mundo

Com o aumento da ação do homem sobre os recursos naturais, particularmente sobre os recursos hídricos que são essenciais para quase todas as atividades humanas, tem levado a um decréscimo na quantidade e qualidade da água disponível para uso até em regiões outrora com boa disponibilidade hídrica.

Existem diferentes estimativas de disponibilidade de água na Terra e no Brasil, todavia, a ordem de grandeza apresentada é a mesma e permite que sejam realizadas reflexões sobre o tema.

A estimativa do volume total de água no planeta Terra é de $1,4 \cdot 10^9 \text{ km}^3$. entretanto, somente 2,5% são água doce. O volume explorável sob o ponto de vista tecnológico e econômico é de 0,6% do total. O gelo equivale a 2,1% e o restante encontra-se na forma de vapor d'água. (SETTI, 1994).

As reservas de água doce são estimadas em 8,2 milhões de Km^3 , onde desse total, somente 1,2% (98.400 Km^3) constituem rios e lagos e os restantes 98,8% formam o aquífero subterrâneo (SETTI, 1994). E, os continentes mais favorecidos em reservas de água doce são a Ásia e as Américas do Norte e do Sul.

Arábia Saudita, Dinamarca e Malta possuem como único recurso hídrico disponível, as águas subterrâneas. Já em países como Áustria, Alemanha, Bélgica, França, Hungria, Itália, Holanda, Marrocos, Rússia e Suíça, mais de 70% da demanda são atendidas pelos mananciais subterrâneos (BANCO MUNDIAL, 1994).

Os conflitos entre países que usam uma mesma bacia, os quais envolvem cerca de 40% da população do mundo, costumam ser resolvidos por meio de tratados internacionais. Existem mais de 200 bacias hidrográficas comuns a dois ou mais países, correspondendo a 60% da superfície mundial. O Brasil encontra-se em situação cômoda quanto a disponibilidade hídrica renovável. Já em países como Kuwait, Qatar, e Cingapura possuem uma disponibilidade em torno de $100 \cdot 10^6 \text{ m}^3 \cdot \text{ano}^{-1}$, o Brasil possui o maior potencial entre todos os países, aproximadamente $5.700.000 \cdot 10^6 \text{ m}^3 \cdot \text{ano}^{-1}$. Ainda segundo o mesmo estudo, estima-se para uma população projetada para 2025,

no Brasil, uma disponibilidade hídrica per capita de 26.000 m³.ano⁻¹ (BANCO MUNDIAL, 1994).

O Brasil destaca-se como o país de maior disponibilidade hídrica no mundo, porém, os recursos hídricos estão heterogeneamente distribuídos. Conforme LANNA (2001), o país possui pelo menos 8% da reserva de água doce no mundo, sendo que aproximadamente 80% situam-se na região Amazônica e os 20% restantes estão concentrados onde 95% da população vivem (região Sul e Sudeste). Assim, os estados brasileiros que possuem situação mais crítica são: Alagoas, Distrito Federal, Pernambuco, Rio Grande do Norte e Sergipe. Nestes estados, a disponibilidade renovável per capita é inferior a 1.400 m³.ano⁻¹.

3.3. Leitos Cultivados ("Constructed Wetlands")

Os leitos cultivados (wetlands) podem ser classificados como um sistema natural de tratamento de águas residuárias, sendo baseados nos alagados, nas várzeas ou "wetlands" naturais que são áreas de solo hidromórfico estando permanentemente inundados ou saturados por águas superficiais ou subterrâneas e onde vegetam várias espécies de plantas que são diretamente dependentes da hidrologia, do meio suporte e dos nutrientes característicos da região onde se encontram (U.S.E.P.A., 1988; WOOD E MCATAMNEY, 1996).

O termo Leito Cultivado (LC) ou "Constructed Wetland" (CW) refere-se à tecnologia de tratamento de águas residuárias baseada nos processos físicos, químicos e biológicos encontrados nos ecossistemas das várzeas naturais, podendo ser classificado como um sistema natural. Estes sistemas têm como os principais componentes o meio suporte, que pode ser solo, areia, brita ou outro material, espécies vegetais características de áreas alagadas, além de microrganismos associados a estes elementos e que são os principais responsáveis pela remoção dos contaminantes da água residuária (VALENTIM, 2003).

ROSTON (1994) desenvolveu um sistema para tratar a água residuária de duas casas de fazenda localizadas no Colorado/Estados Unidos e concluiu que o sistema "tanque séptico e leitos cultivados com macrófitas de fluxo subsuperficial é um conjunto

eficiente e barato para o tratamento de esgoto doméstico de áreas rurais e de pequenas comunidades”.

DECAMP E WARREN (2000) conduziram estudos comparativos para determinar a eficiência na remoção de *Escherichia coli* em vários modelos de leitos cultivados (constructed wetlands), empregando fluxo de superfície horizontal através da zona de macrófitas emergentes.

Entre os vários sistemas naturais é destacado o uso de Leitos Cultivados (LC) com macrófitas como pós-tratamento de um Tanque Séptico Modificado (TSM). Este sistema apresenta remoção de nutrientes, mínima geração de biossólidos, possibilidade da utilização das macrófitas como matéria-prima para uma atividade econômica e o uso do seu efluente final em sistemas de reúso agrícola (irrigação), sendo muito indicado para pequenas comunidades (VALENTIM, 2003).

Segundo GOPAL (1999), wetlands têm sido consideradas cada vez mais importantes para o tratamento de águas residuárias por causa da habilidade de muitas delas em absorver grandes quantidades de nutrientes e uma variedade de substâncias tóxicas. É sugerido que enquanto as possibilidades para usar wetlands baseadas em espécies nativas para pequenas comunidades são exploradas, dever-se-ia dar maior ênfase na restauração de wetlands degradadas, especialmente aquelas que podem ajudar a checar as fontes poluidoras.

3.4. Tecnologia de Filtração Lenta e Filtração em Múltiplas Etapas

3.4.1. Filtros Lentos

A filtração lenta é um sistema de tratamento de água 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).

A eficiência da filtração lenta na remoção de bactérias foi comprovada em 1892 nas cidades de Hamburgo e Altona na Alemanha, que captavam água do Rio Elba. Em Hamburgo o tratamento consistia apenas de sedimentação enquanto que Altona possuía filtros lentos de areia. Uma epidemia de cólera atingiu um terço da população de Hamburgo com 7.500 mortes enquanto que em Altona nada ocorreu. (HUISMAN, 1982).

A filtração lenta destaca-se por ser um sistema que não requer uso de coagulantes ou de outro produto químico, é de simples construção, operação e manutenção, não requer mão de obra qualificada para sua operação, produz águas com características menos corrosivas e apresenta custos geralmente acessíveis a pequenas comunidades, principalmente de países em desenvolvimento, (AZEVEDO NETTO e HESPANHOL, 1979), além de ser um dos processos de tratamento de águas de abastecimento que produz menos quantidade de lodo.

Os filtros lentos consistem em uma unidade de fluxo descendente com taxa de filtração entre 3 e 6 m d^{-1} e meio filtrante composto de areia com curva granulométrica definida entre 0,08 mm e 1 mm e camada suporte de pedregulho com espessura total entre 0,8 e 1m e carga hidráulica entre 1,4 e 1,9m (PATERNIANI, 1991).

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, 1969).

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).

LONDE (2002) utilizando um sistema composto apenas de filtro lento tendo como meio filtrante areia grossa de construção civil passada por peneira de 1 mm e mantas sintéticas não tecidas e, utilizando uma taxa de filtração igual a 3 m³/ m².dia, reduziu em média 64% a turbidez, 38% a cor, 62% os sólidos suspensos totais, em 92,57% os *E. coli* e em 85,61% os coliformes totais. Nos ensaios com taxa de filtração igual a 6 m³/ m².dia, a redução em média foi de 72% para turbidez, 44% para cor, 67% para sólidos suspensos totais, 83,87% para *E. coli* e 82,90% para coliformes totais.

3.4.2. Filtração em Múltiplas Etapas

Segundo DI BERNARDO (1993), 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 afluyente ao filtro e sua utilização fica restrita a águas que apresentam valores de cor verdadeira, turbidez e teor de sólidos suspensos relativamente baixo. Entretanto com o uso de pré-tratamentos FIME (filtração em múltiplas etapas), esta limitação já não existe. 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 estão apresentados alguns critérios de qualidade a que as águas a serem tratadas pela filtração lenta devem atender.

Tabela 3. Características gerais da água bruta em função do arranjo da FiME (PROSAB, 1999).

Características	Filtro	Pré-filtro	Pré-filtro dinâmico +
Água bruta	Lento	Dinâmico +	Pré-filtro pedregulho+
		Filtro lento	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
Escherichia Coli (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

As recomendações dadas por DI BERNARDO et al. (1999), para turbidez, sólidos suspensos, coliformes totais e fecais máximos para sistemas de filtração lenta e filtração em múltiplas etapas, mostradas na Tabela 4 referem-se a 100% das amostras, não sendo atendidos deste modo nos parâmetros bacteriológicos, porém é valido lembrar que as recomendações dos autores são feitas para afluentes coletados em corpos d'água naturais com fins de potabilização,

Tabela 4. Valores Máximos recomendados para 100% das amostras em sistemas de filtração lenta e filtração em múltiplas etapas (DI BERNARDO et al, 1999).

	Filtro Lento	F.I.M.E.	Máximos obtidos
Turbidez [uT]	< 25	< 200	107
Sólidos Suspensos Totais [mgL ⁻¹]	< 25	< 200	40
Coliformes Totais [NMP/100ml]	< 1 x 10 ³	< 2 x 10 ⁴	2,4 x 10 ⁶
Coliformes Fecais [NMP/100ml]	< 5 x 10 ²	< 1 x 10 ⁴	2,4 x 10 ⁶
Ferro Total [mgL ⁻¹]	< 1,5	<2,0	1,8

O pré-filtro dinâmico consiste de uma unidade de fluxo descendente com taxa de filtração entre 18 e 60 mc⁻¹ onde parte do afluente é utilizada como água de limpeza do topo do meio granular. A função dos pré-filtros dinâmicos é a remoção de materiais mais grosseiros, suportando picos de sólidos em suspensão (DI BERNARDO, 1999).

Os pré-filtros de pedregulho com fluxo vertical (descendente ou ascendente) podem ter configuração em camadas ou em série, com taxa de filtração entre 12 e 36md⁻¹ tendo eficiência de remoção de coliformes fecais de 99,4%, eficiência de remoção de turbidez de 80%, e de sólidos suspensos de 97% (GALVIS et al., 1996), tornando então o efluente do pré-filtro de pedregulho adequado para a filtração lenta. No pré-filtro de pedregulho com escoamento ascendente podem ser encontradas duas configurações, a em camadas e a em unidades em série, ao passo que no pré-filtro descendente apenas a configuração em unidades em série é utilizada.

No caso da pré-filtração em camadas, o processo ocorre em uma única unidade onde o material filtrante é composto de sub-camadas de pedregulho decrescente no sentido do escoamento. Quando se tem a pré-filtração em série, cada camada filtrante

é disposta em compartimento separado, de tal modo que a água filtrada no primeiro compartimento, de maior granulometria, é encaminhada para uma segunda câmara, e desta para uma terceira, onde as granulometrias são gradativamente menores (DI BERNARDO et al., 1999).

Estudos realizados mostraram ser viável o uso de mantas sintéticas não tecidas (Tabela 5) no topo do meio filtrante, permitindo redução da espessura deste para 40 cm e também na substituição da camada suporte e também o uso de areia comum de construção peneirada em malha com abertura de 1 mm, sem redução da eficiência do filtro. Além da redução da espessura do meio filtrante a manta sintética faz com que o “schmutzdecke” se forme na superfície desta, eliminando a necessidade de raspagem da areia para limpeza do filtro. (PATERNIANI, 1991; FERRAZ E PATERNIANI, 2002)

Tabela 5. Características das Mantas Sintéticas Não Tecidas para Filtros Lentos (PATERNIANI, 1991).

Característica	Padrão
Permeabilidade normal	0,5 (cm/s)
Abertura dos poros	0,150 (mm)
Gramatura	380 (g/m ²)
Espessura	3,8 (mm)

3.4.3. Adsorção 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 E 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 (PAGE et al., 1966 e BAUER 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 - carbono orgânico dissolvido e CODB – carbono orgânico dissolvido biodegradável) 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 E 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 aclimatação de microrganismos e maior remoção no início de operação (DUSSERT E 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 freqüência 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).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Localização do Experimento

A instalação piloto de tratamento de água para a investigação experimental foi montada no Campo Experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP localizado no município de Campinas (Latitude 22^o 49'05" Sul).

4.2. Dados do Afluente e das Condições Experimentais

O afluente utilizado na pesquisa era composto por esgoto doméstico e de resíduos provenientes de laboratórios e da oficina mecânica. Este esgoto passa por um tanque séptico de 3 compartimentos em série e, em seguida por leitos cultivados com macrófitas.

O tanque séptico foi montado acima do solo com três caixas d'água de 1000, 500 e 500 L respectivamente, como mostra a Figura 1.



Figura 1. Tanque séptico compartimentado (in VALENTIN,2003).

Os Leitos Cultivados foram construídos em blocos de concreto e acima do solo, sendo três de forma retangular e três quadrada e dispostos em paralelo. O meio suporte utilizado foi brita #2 (diâmetro equivalente de 55 a 90mm) e foram cultivadas três espécies de macrófitas emergentes (*Typha sp.*, *Eleocharis sp.* e *Scirpus sp.*). A área de cada leito era de 4,0 m², altura de 0,70m e 0,60m de lâmina d'água.

4.3. Sistema de filtração

O sistema de tratamento de efluente consiste de um pré-filtro de pedregulho de fluxo ascendente e dois filtros lentos de areia e manta sintética não tecida e, de areia com carvão ativado e manta sintética não tecida, respectivamente instalados em paralelo e cada um deles constituído por um tanque cilíndrico de plástico PEMD (polietileno de média densidade) rotomoldado com altura útil de 1200 mm, diâmetro igual a 600 mm e fundo cônico contendo uma grade metálica que forma o sistema de drenagem. O sistema de coleta do efluente do Filtro Lento é constituído por um tubo de PVC de 1/2", o qual tem origem junto ao sistema de drenagem e segue até 10 cm acima da camada de areia, garantindo a presença constante de água no interior do filtro lento.

Um esquema do sistema pode ser visto na Figura 5.

4.3.1. Pré-filtro de Fluxo Ascendente

O pré-filtro de pedregulho, denominado PF, possui forma cilíndrica, constituída de polietileno com diâmetro 0,6m e altura útil de 1,2m, apresentando seção circular de

0,28m². O fundo do recipiente é cônico onde foi apoiada uma grade metálica com a função de suportar o meio filtrante, como mostra a Figura 2.

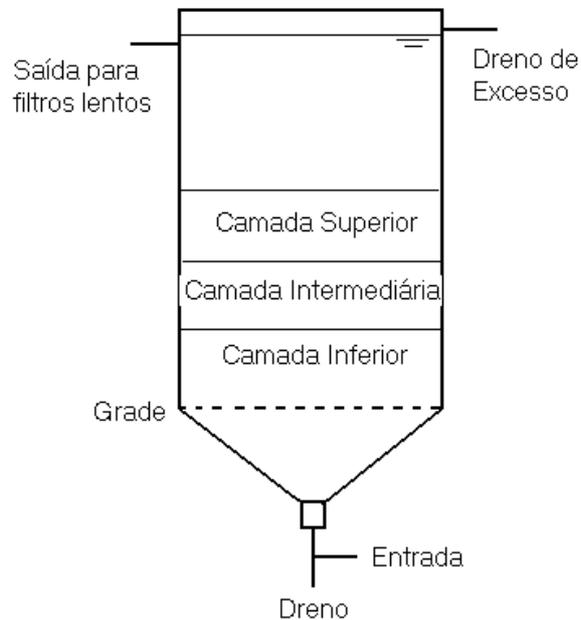


Figura 2. Esquema construtivo do pré-filtro.

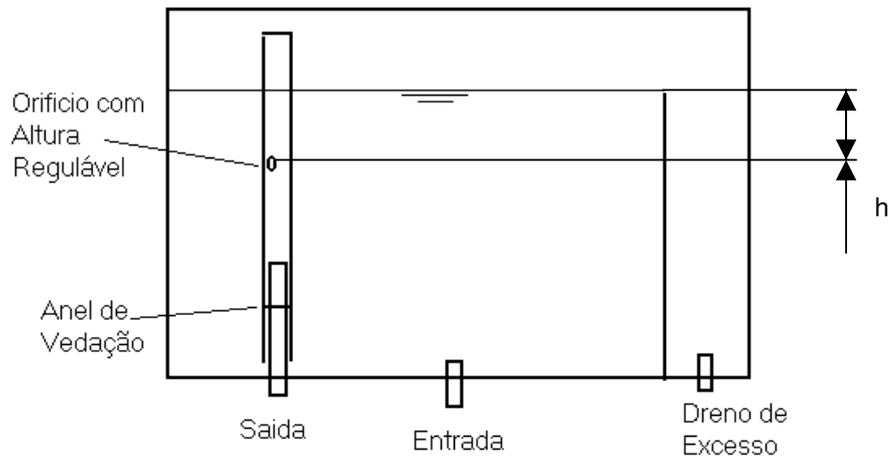
O meio filtrante do pré-filtro é constituído por três camadas de pedregulho com a granulometria diminuindo no sentido do fluxo de água. A definição da composição da camada foi feita segundo DI BERNARDO *et al.* (1999) com cada uma espessura de 0,25m. (Tabela 6), sendo a espessura total do meio filtrante de 0,75 m.

Tabela 6. Meio filtrante do pré-filtro de pedregulho (adaptado de DI BERNARDO *et al.*, 1999).

	Material Granular (mm)	Espessura (m)
Camada Superior	3,2 a 6,4	0,25
Camada Intermediária	6,4 a 19,0	0,25
Camada Inferior	19,0 a 31,0	0,25

A alimentação do pré-filtro é feita por um dosador, utilizado por LONDE (2002) composto por uma caixa onde o afluente do pré-filtro é admitido por um orifício mantido sob carga hidráulica constante.

Na Figura 3 é apresentado o esquema da caixa de distribuição e na Figura 4 uma fotografia da mesma.



Observação: o orifício possui diâmetro de 6,35 mm (1/4").

Figura 3. Esquema do dosador do pré-filtro.



Figura 4. Foto do dosador do pré-filtro de pedregulho.

A altura do orifício em relação ao nível de água da caixa (h) para a taxa de filtração ensaiada, de $3\text{m}^3/\text{m}^2$ dia, foi calculada através da seguinte fórmula:

$$Q = C_d \cdot A \cdot (2 \cdot g \cdot h)^{1/2} \quad \text{EQUAÇÃO 1}$$

onde:

Q = vazão (m^3/s)

C_d = Coeficiente de descarga = 0,82

A = área do orifício (m^2)

g = aceleração da gravidade (m^2/s)

h = altura do orifício em relação ao nível de água dentro da caixa de distribuição (cm).

A alimentação do pré-filtro é feita pela parte inferior onde existe uma derivação para ser realizada a descarga de fundo. Esta derivação possuía uma válvula de esfera de diâmetro 100 mm, permitindo o rápido esgotamento do pré-filtro e sua limpeza.

A figura 5 mostra um esquema em planta da instalação piloto para tratamento de água e os pontos de coleta das amostras para análise.

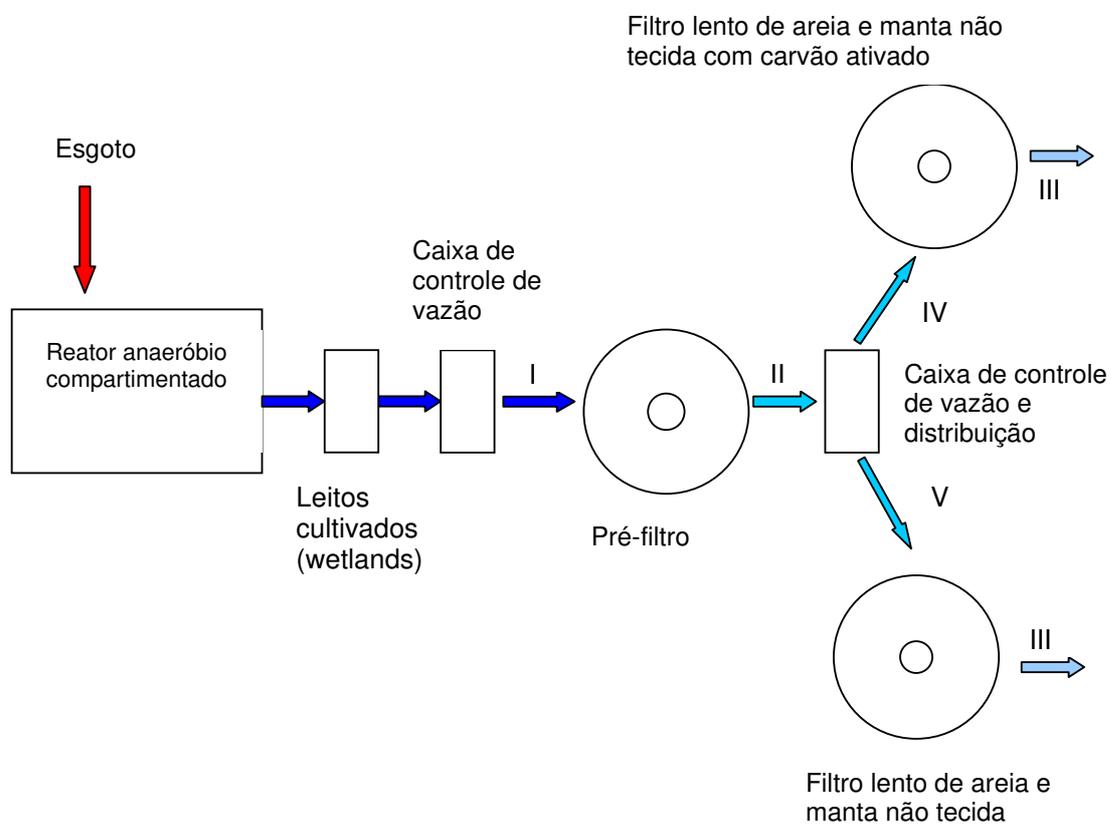


Figura 5. Esquema em planta da instalação piloto com os pontos de coleta para análise.

A descarga de fundo do pré-filtro é utilizada para a limpeza do mesmo, sendo realizada uma vez por semana. O líquido proveniente da descarga é descartado para uma caixa coletora de esgoto localizada atrás do experimento.

4.3.2. Filtros Lentos

4.3.2.1. Filtro Lento de Areia e Manta Não Tecida

O Filtro Lento é constituído por um tanque cilíndrico de plástico PEMD rotomoldado com altura útil de 1200 mm, diâmetro igual a 600 mm e fundo cônico contendo uma grade metálica que forma o sistema de drenagem.

O meio filtrante é constituído por uma camada de areia de construção civil lavada e passada por peneira de 1 mm, com espessura de 40 cm e por 3 mantas sintéticas não tecidas, cujas características são mostradas na Tabela 5, instaladas no topo desta e também na camada suporte.

O acompanhamento do aumento da perda de carga devido à retenção de impurezas pelo filtro foi realizada através da medição da altura do nível de água no interior do mesmo. Para isso, instalou-se na parede externa do Filtro Lento uma escala graduada. De acordo com esta escala, a carga hidráulica disponível no filtro é de 580 mm. A Figura 6 mostra um esquema do filtro lento piloto utilizado na presente pesquisa.

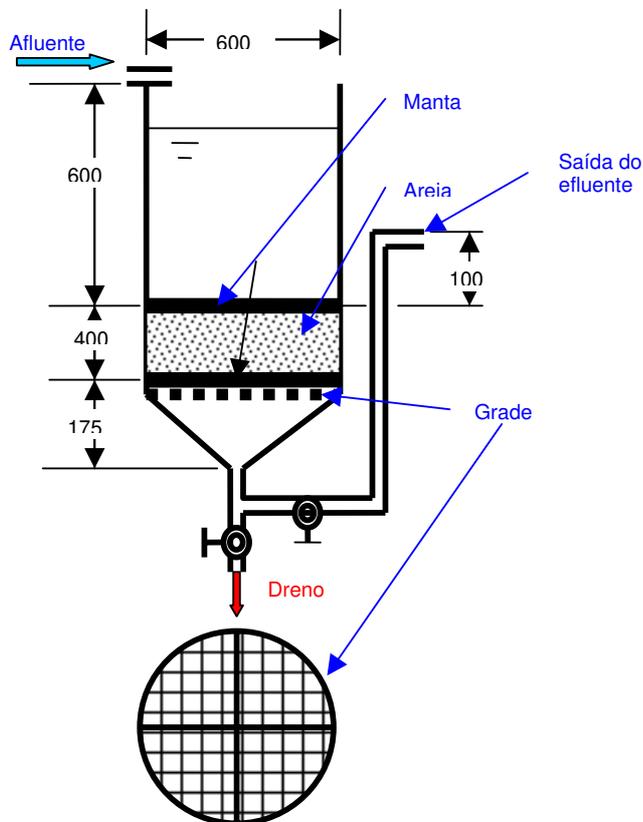


Figura 6. Esquema do filtro lento piloto.

4.3.2.2. Filtro Lento de Areia e Manta com Camada de Carvão Ativado

Possui as mesmas características do filtro descrito anteriormente, porém possui uma camada de 100 mm de carvão ativado granulado sobre a camada de areia, como mostra a Figura 7. Observação: medidas em milímetros.

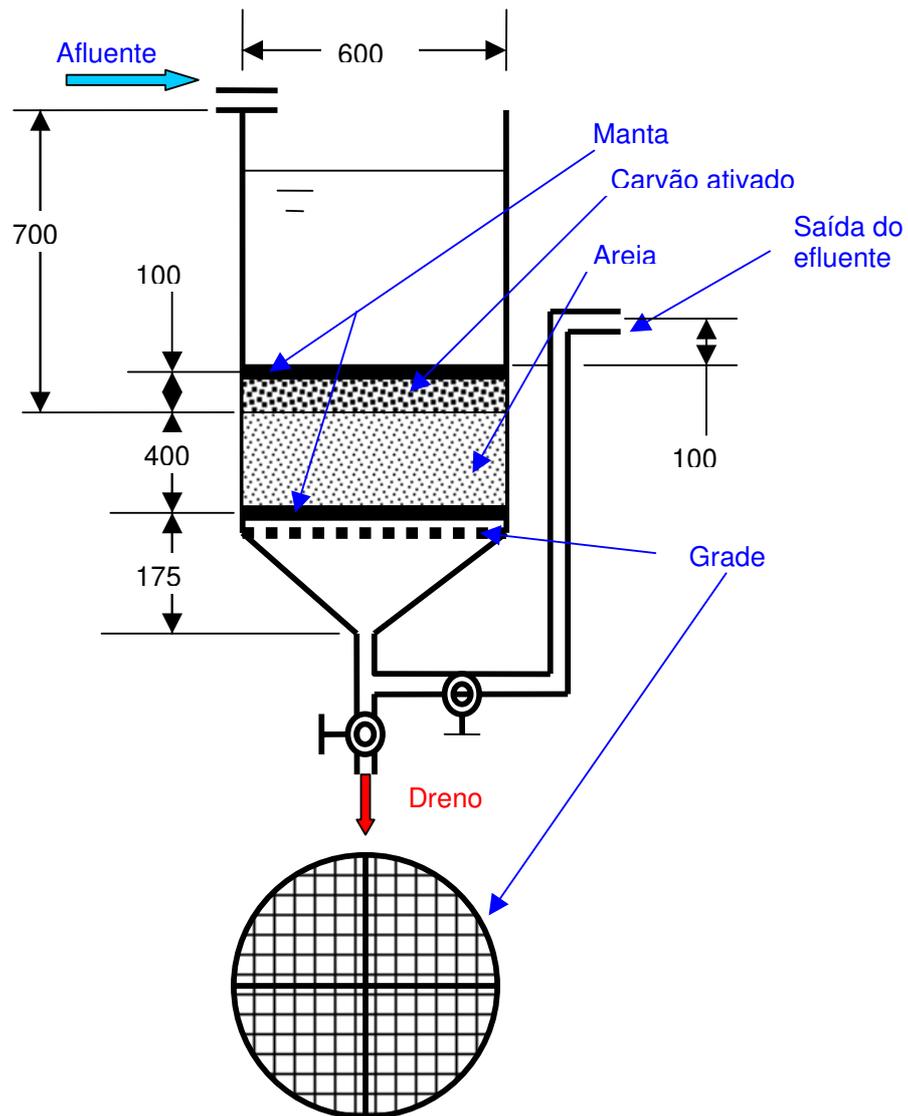


Figura 7. Esquema do filtro lento piloto com carvão ativado.

A alimentação dos filtros é feita por uma caixa de derivação que divide o fluxo efluente do PF igualmente entre o FL1 e o FL2, mostrada nas Figuras 8 e 9.

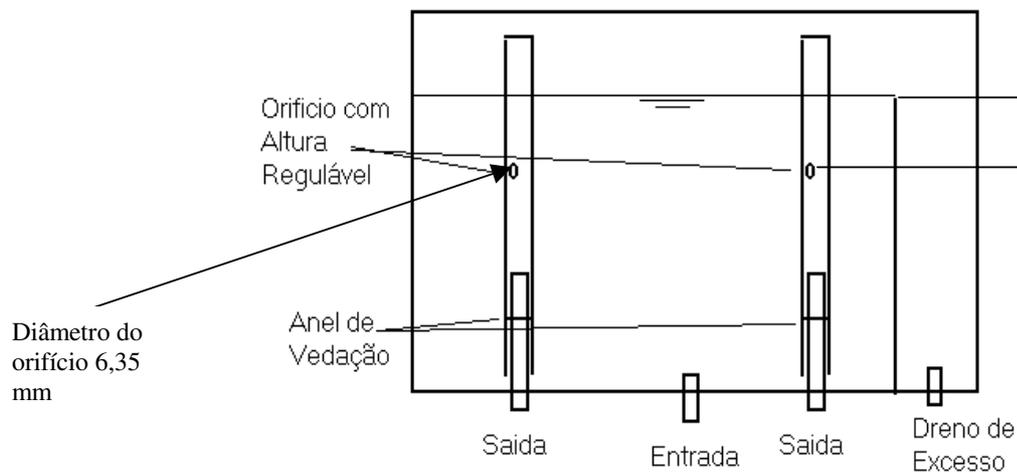


Figura 8. Esquema da caixa de derivação de entrada dos filtros lentos.



Figura 9. Foto da caixa de derivação de entrada dos filtros lentos.

A altura do orifício em relação ao nível de água da caixa (h) para a taxa de filtração ensaiada, de $3\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{dia}$, foi calculada através da mesma fórmula utilizada anteriormente para o cálculo da vazão da caixa de alimentação do pré-filtro.

Na saída do afluente dos FL1 e FL2 instalou-se uma válvula de drenagem que pode ser utilizada tanto para drenagem como para enchimento dos filtros no sentido contrário ao fluxo normal para evitar a existência de bolhas de ar e em seguida dois sifões que mantêm uma lâmina d'água sobre a manta sintética não tecida mesmo quando não há fluxo e após estes as tubulações convergem para o sistema de desinfecção e um funil para manter descarga livre e coleta de amostras. (Figuras 10 e 11).

A perda de carga nos filtros lentos foi medida pelo desnível entre a lâmina d'água livre e a saída dos filtros, em descarga livre.

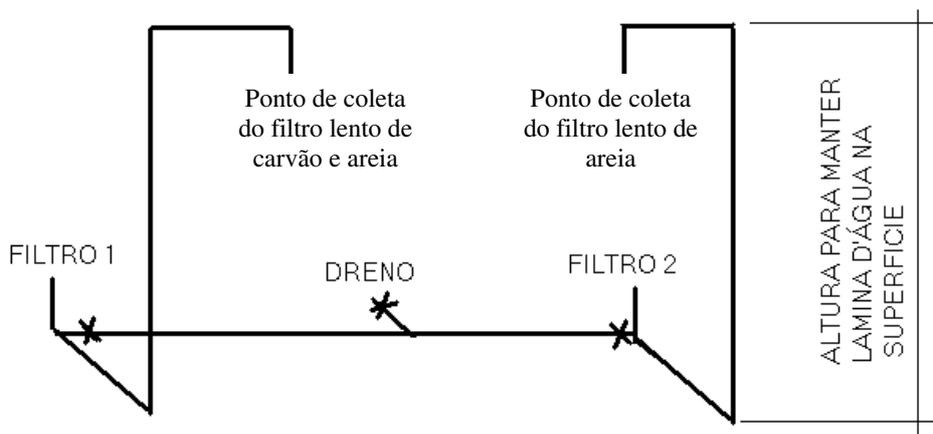


Figura 10. Esquema da instalação para coleta do efluente dos filtros lentos.



Figura 11. Foto sistema de drenagem dos filtros lentos.

A figura 12 mostra a instalação dos filtros lentos e pré-filtro



Figura 12. Foto da instalação piloto.

4.3.2.3. Meio filtrante

A areia utilizada no meio filtrante foi areia grossa, utilizada em construção civil, passada por peneira de 1 mm, lavada em água corrente. Após o processo de lavagem a areia foi posta para secar naturalmente durante 2 semanas e em seguida peneirada em peneira com malha de abertura 1 mm, conforme recomendado por DI BERNARDO et al (1999).

Os resultados obtidos nos ensaios granulométricos da areia juntamente com as características granulométricas recomendadas por DI BERNARDO (1993) para a areia empregada na filtração lenta são apresentados na Tabela 7.

A areia apresenta diâmetro efetivo, $D_{10} = 0,225$ mm e coeficiente de desuniformidade, $D_{60} / D_{10} = 3$, adequados à filtração lenta, segundo DI BERNARDO et al (1999) que recomendam D_{10} entre 0,15 e 0,25mm e D_{60} / D_{10} entre 2 e 5. Seguiu-se,

também a recomendação de DI BERNARDO et al (1999) de modo que o maior grão passou pela malha de 1,00mm e o menor grão ficou retido na malha de 0,08mm.

A figura 13 mostra a curva granulométrica obtida do ensaio de granulometria da areia utilizada nos filtros lentos.

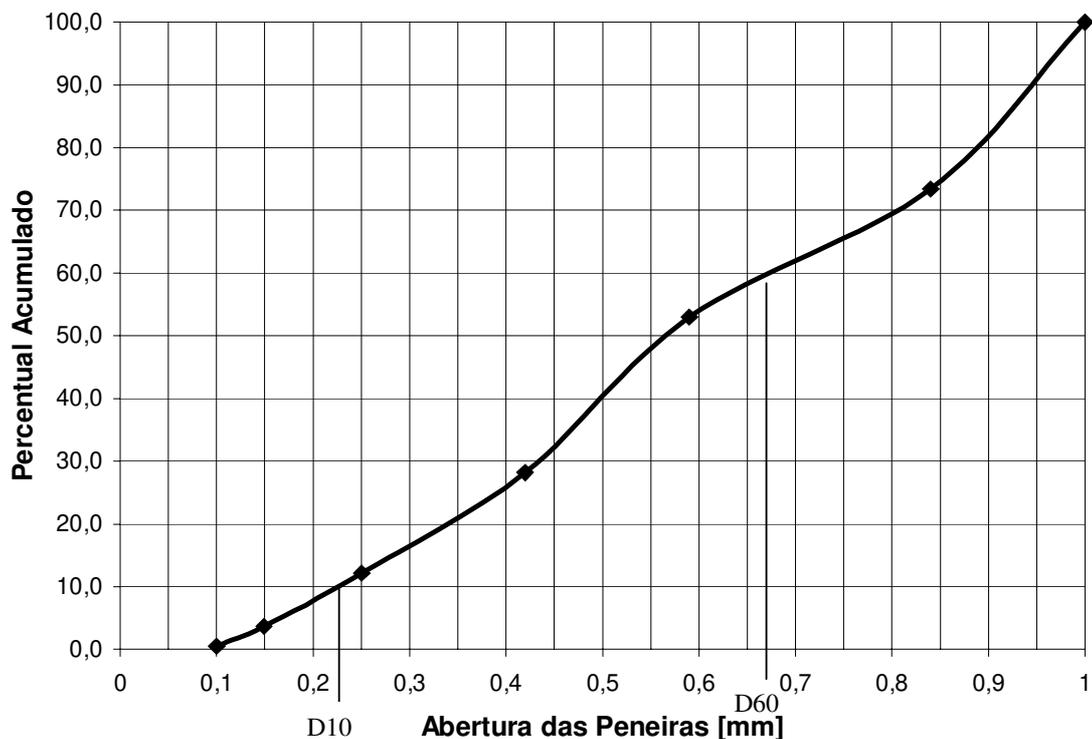


Figura 13. Curva granulométrica da areia dos filtros.

Tabela 7. Parâmetros obtidos do ensaio de granulometria da areia utilizada nos filtros.

Parâmetro	Dado obtido do ensaio	Parâmetro recomendado por DI BERNARDO (1993)
Tamanho efetivo do grão (D_{10}) – (mm)	0,23	0,15 a 0,25
Coefficiente de desuniformidade (CD)	2,9	2 a 5
Menor grão – (mm)	0,1	0,08
Maior grão – (mm)	1,0	1,0

O carvão ativado apresenta a curva granulométrica mostrada na Figura 14 e uma amostra do carvão utilizado é apresentada na Figura 15.

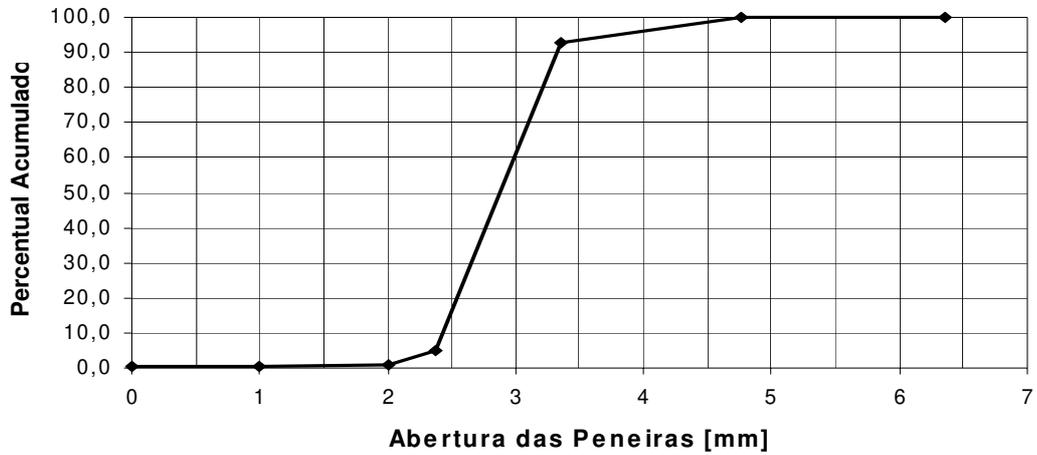


Figura 14. Curva granulométrica do carvão ativado.

A Figura 15 mostra o carvão utilizado no filtro lento.

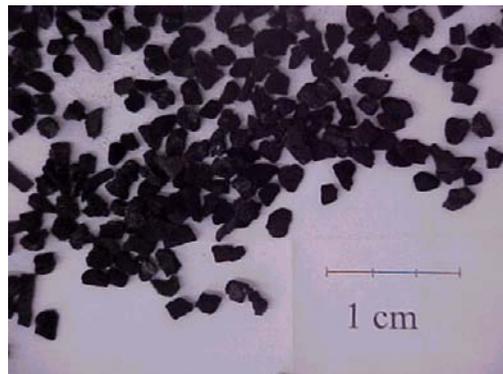


Figura 15. Carvão ativado.

4.4. Ensaio realizados

A eficiência dos filtros lentos foi avaliada através da análise de vários parâmetros de controle, conforme a tabela 9 a qual mostra o tipo de análise e frequência da mesma ao longo do experimento.

As amostras foram coletadas em pontos do sistema conforme mostra a Figura 5.

Tabela 8. Ensaio realizados, intervalo entre as análises e seus respectivos pontos de coleta, conforme a Figura 5.

Parâmetro de controle	Ponto coleta	Frequência
Taxa de filtração	I, IV e V	Diária
Evolução da perda de carga	Dentro dos filtros	Diária
pH	I, II e III	Diária
Cor	I, II e III	Diária
Turbidez	I, II e III	Diária
Temperatura	I, II e III	Diária
Ferro	I, II e III	2 vezes/ semana
Manganês	I, II e III	2 vezes/ semana
Sólidos em Suspensão	I, II e III	2 vezes/ semana
Coliformes Totais	I, II e III	2 vezes/ semana
Coliformes Fecais - E.coli	I, II e III	2 vezes/ semana
Oxigênio Dissolvido	I, II e III	Diária

Os ensaios foram iniciados em agosto de 2004 quando foram realizados testes preliminares para ajustar a metodologia e os equipamentos utilizados, sendo realizadas 3 carreiras preliminares para este fim.

A partir da carreira 3 é que passou-se a considerar os resultados para a pesquisa. Assim, foram realizadas 6 carreiras completas de filtração, que começaram em 05 de outubro de 2004 e terminaram em 18 de agosto de 2005.

Para todas as carreiras utilizou-se uma taxa de filtração próxima de 3 m³/m² dia.

4.4.1. Metodologia e equipamentos utilizados

- Turbidez:

Nefelometria, utilizando-se o aparelho TUBIDIMETER 2100NA HACH, conforme descrito em HACH, 1996.

- Cor aparente:

Espectrofotometria, utilizando-se o aparelho TUBIDIMETER 2100NA HACH, conforme descrito em HACH, 1996.

- pH:

Leitura em pHmetro marca DIGIMED, modelo DM 20, conforme descrito em Standard Methods (APHA 1995).

- Oxigênio dissolvido e temperatura:

Medidor de Oxigênio dissolvido portátil marca Hexis modelo 550A-12.

- Manganês:

Espectrofotometria, utilizando-se o aparelho TUBIDIMETER 2100NA HACH, conforme descrito em HACH, 1996.

- Ferro:

Espectrofotometria, utilizando-se o aparelho TUBIDIMETER 2100NA HACH, conforme descrito em HACH, 1996.

- Coliformes fecais e totais:

Método do substrato definido, utilizando-se reagente COLILERT, segundo Standard Methods (APHA 1995).

- Sólidos em suspensão:

Método gravimétrico com filtração em papel filtrante, segundo Standard Methods (APHA 1995).

- Taxa de filtração:

Medição da vazão utilizando-se uma proveta graduada de 1000 mL e relógio.

- Evolução da perda de carga:

Medição com uma trena graduada em milímetros e polegadas, com a qual se media a altura da lâmina d'água sobre o meio filtrante.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram considerados como resultados efetivos dessa pesquisa seis carreiras de filtração.

5.1. Dados do Afluente e das Condições Experimentais

O afluente utilizado na presente pesquisa foi o tratado pelos reatores anaeróbios compartimentados seguidos por leitos cultivados. As amostras coletadas ao longo dos ensaios apresentaram os valores mostrados na Tabela 9.

Tabela 9. Dados das amostras de água afluente.

	Média	Desvio Padrão	Valor Máximo	Valor Mínimo
Turbidez [FAU]	32,8	16,6	107	10
Cor Aparente [mg(Pt-Co)L ⁻¹]	210,2	65	343	10
Temperatura [°C]	23,7	3,2	30,2	17,6
Oxigênio Dissolvido [mg(O ₂)L ⁻¹]	3,0	1,3	6,3	0,7
pH	7,0	0,2	7,6	6,6
Col. Totais [NMP(100ml) ⁻¹]	1,4 x 10 ⁶	1,0 x 10 ⁶	2,4 x 10 ⁶	6,5 x 10 ⁴
Col. Fecais [NMP(100ml) ⁻¹]	3,2 x 10 ⁵	5,7 x 10 ⁵	2,4 x 10 ⁶	1,4 x 10 ⁴
Ferro Total [mg(Fe)L ⁻¹]	0,8	0,5	1,8	0,3
Manganês Total [mg(Mn)L ⁻¹]	0,086	0,019	0,125	0,053
Conc. Sólidos em Suspensão [mgL ⁻¹]	12,4	6,8	40,0	5,0
Demanda Quím. de Oxigênio [mgL ⁻¹]	50,5	30,3	132,8	8,1

Os valores de temperatura, oxigênio dissolvido, pH, concentração de sólidos suspensos e manganês total tiveram pouca variabilidade ao longo do experimento, enquanto turbidez, cor aparente, demanda química de oxigênio, coliformes (totais e fecais) e ferro total variaram no decorrer dos ensaios, chegando a valores superiores aos recomendados por Di BERNARDO *et al.* (1999) (Figuras 16 a 19).

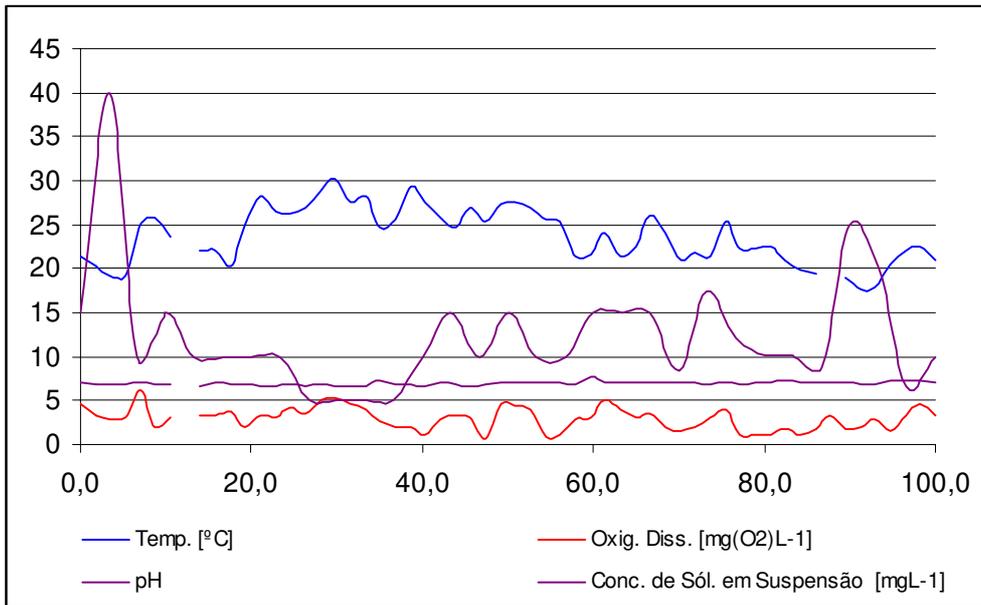


Figura 16. Valores médios de Temperatura, OD, pH e Concentração de Sol. Susp. no afluente dos ensaios.

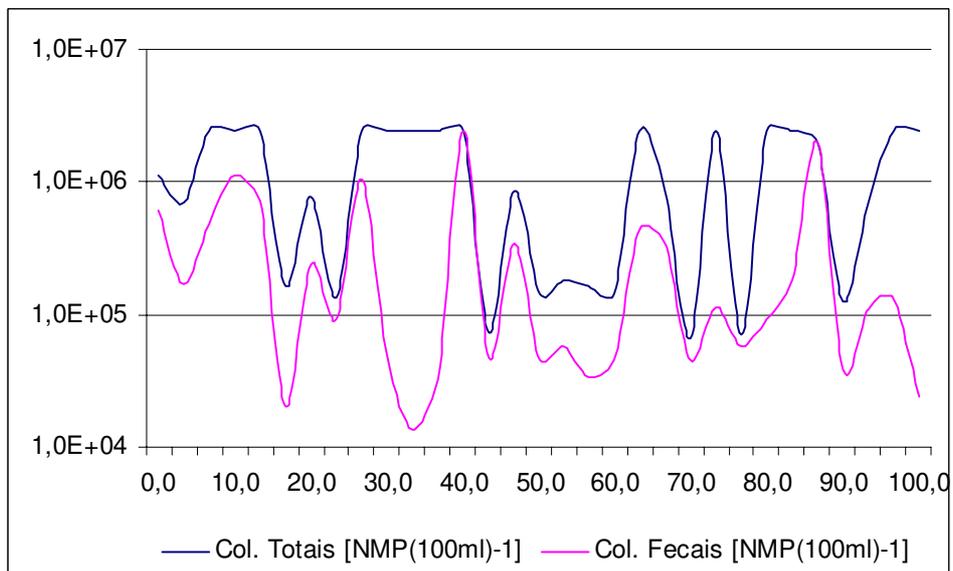


Figura 17. Valores médios de Coliformes Totais e Fecais no afluente dos ensaios.

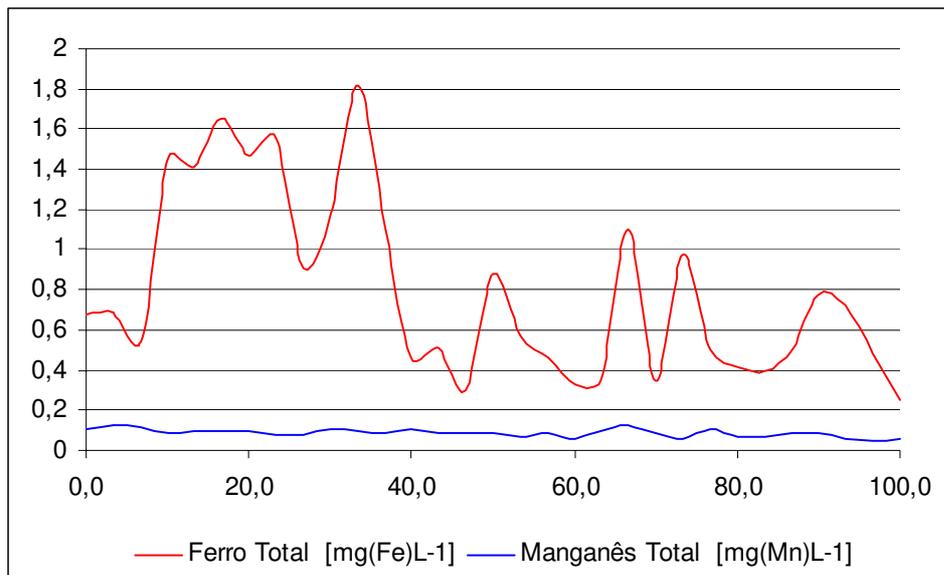


Figura 18. Valores médios de Ferro e Manganês Totais no afluente dos ensaios.

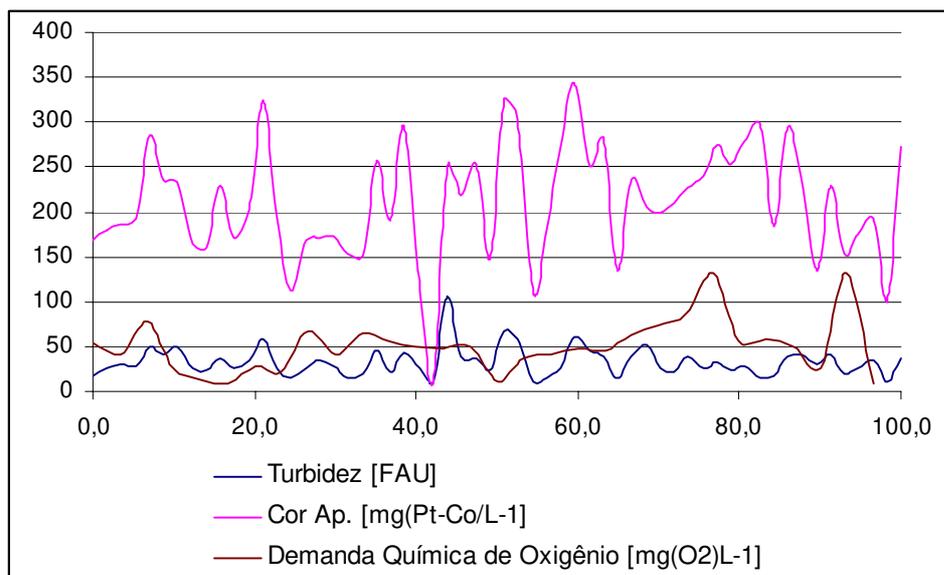


Figura 19. Valores médios de Turbidez, Cor Aparente e DQO no afluente dos ensaios.

5.2. Ensaio 1

5.2.1. Taxa de Filtração

Neste ensaio a taxa média de pré-filtração foi de $7,9 \text{ m}^3/\text{m}^2$ dia, a taxa média de filtração no filtro lento de areia foi de $2,8 \text{ m}^3/\text{m}^2$ dia e do filtro lento de areia e carvão foi de $2,9 \text{ m}^3/\text{m}^2$ dia. Para efeito de comparação pode-se considerar que os dois filtros lentos operaram com a mesma taxa de filtração.

5.2.2. Perda de Carga

As perdas de carga dos filtros alcançaram o valor de 70 cm, considerado limitante, quando as carreiras de filtração estavam com 18 dias de duração (Figura 20).

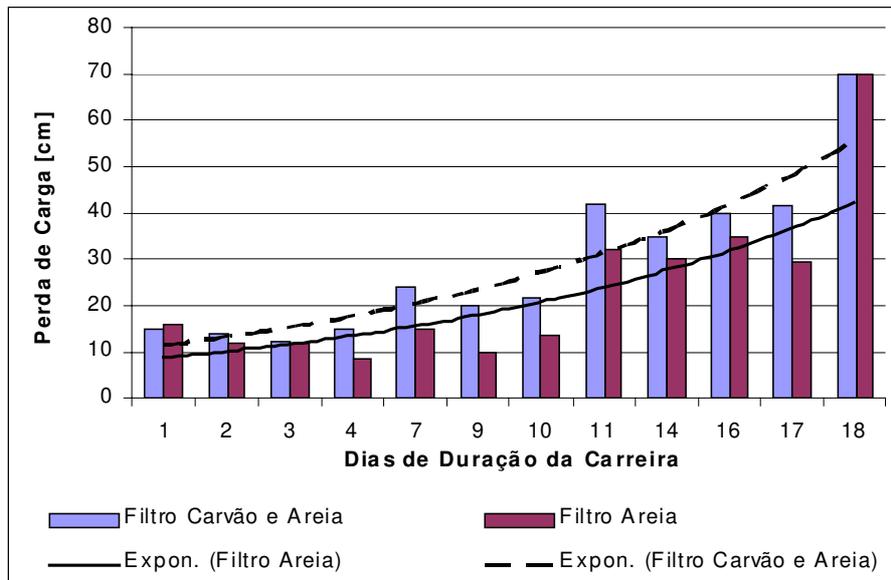


Figura 20. Evolução da perda de carga dos filtros lentos durante a carreira do 1º ensaio.

As curvas desenhadas como tendências da evolução da perda de carga dos filtros podem ser modeladas como exponenciais, sendo o filtro lento de areia representado na EQUAÇÃO 2 e o filtro lento de areia e carvão representado na EQUAÇÃO 3.

$$\Delta H_{Areia} = 7,6716e^{0,1429d} \quad R^2 = 0,65 \quad \text{EQUAÇÃO 2}$$

$$\Delta H_{\text{Areia_Carvão}} = 10,005e^{0,1428d} \quad R^2 = 0,86$$

EQUAÇÃO 3

onde: ΔH = perda de carga, em cm

d = tempo de duração da carreira, em dias

Os valores 0,1429 e 0,1428 mostram que a evolução da perda de carga em ambos os filtros é semelhante e a diferença está nos valores são decorrentes da perda de carga inicial nos filtros, que possuem meios filtrantes distintos.

5.2.3. Sólidos em Suspensão

A remoção de sólidos em suspensão nas unidades de pré-filtração e filtração lenta teve eficiência média de 50% no pré-filtro de pedregulho e no filtro lento de areia e carvão e de 66,7% no filtro lento de areia.

As eficiências, não foram muito altas, porém o efluente a ser tratado possui boa qualidade no que diz respeito aos valores de concentração de sólidos em suspensão, como mostra a Tabela 10, de tal modo que o efluente filtrado também apresentou baixa concentração de sólidos em suspensão.

Tabela 10. Valores Médios, Máximos e Mínimos de Concentração de Sólidos em Suspensão no Pré-Filtro e Filtros Lentos no 1º Ensaio, em mg/L.

	Média	Máxima	Mínima
Afluente ao Pré-Filtro	21,7	40,0	10,0
Efluente do Pré-Filtro	15,0	20,0	10,0
Efluente do Filtro de Carvão e Areia	15,0	25,0	5,0
Efluente do Filtro de Areia	11,7	20,0	5,0

5.2.4. Turbidez

A remoção da turbidez mostrou-se eficaz ao longo das unidades experimentais de tratamento como mostra a Figura 21, onde nota-se que em 100% das amostras o efluente dos filtros lentos apresentaram turbidez inferior a entrada do pré-filtro e em apenas 2 amostras o pré-filtro não estava apresentando eficiência.

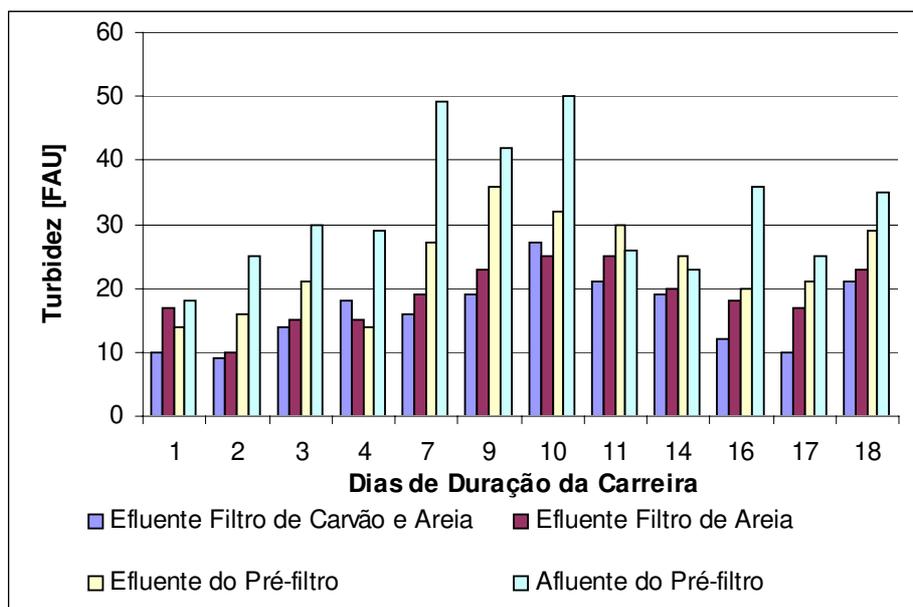


Figura 21. Valores de turbidez das amostras coletadas no pré-filtro e filtros lentos no 1º ensaio.

As eficiências médias de remoção de turbidez obtidas no decorrer deste ensaio foram de 26,5% no pré-filtro, 31,2% no filtro lento de carvão e areia e 20,4% no filtro lento de areia, de tal modo que o efluente filtrado possui baixos valores de turbidez, como mostra a Tabela 11.

Tabela 11. Valores Médios, Máximos e Mínimos de Turbidez no Pré-Filtro e Filtros Lentos no 1º Ensaio, em FAU.

	Média	Máxima	Mínima
Afluente do Pré-Filtro	32,3	50,0	18,0
Efluente do Pré Filtro	23,8	36,0	14,0
Efluente do Filtro de Carvão e Areia	16,3	27,0	9,0
Efluente do Filtro de Areia	18,9	25,0	10,0

5.2.5. Cor Aparente

A remoção da cor aparente, do mesmo modo que a remoção de turbidez, mostrou-se eficaz ao longo das unidades experimentais como mostra a Figura 22, onde nota-se que em 100% das amostras o efluente dos filtros lentos possui cor aparente inferior as das entradas do pré-filtro.

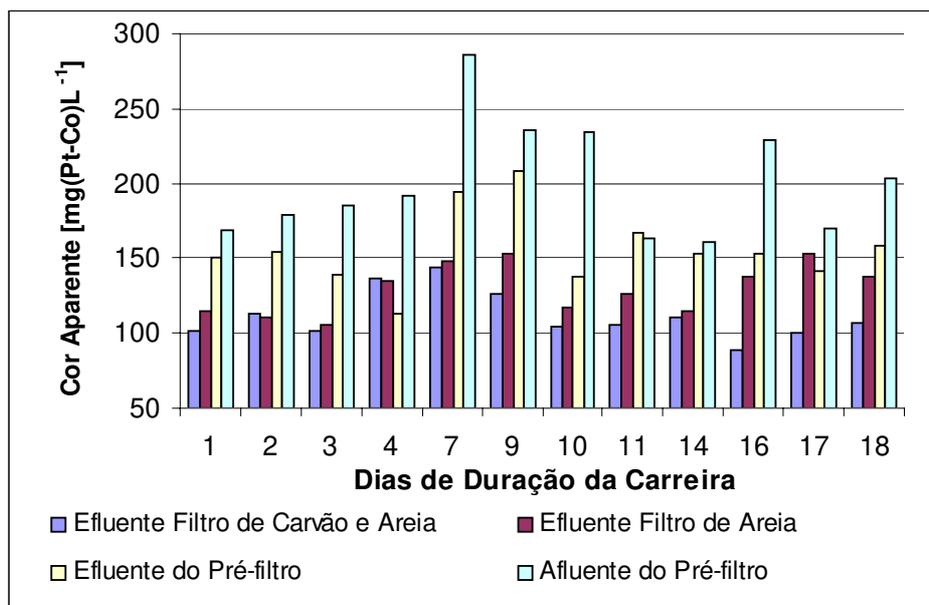


Figura 22. Valores de cor aparente das amostras coletadas no pré-filtro e filtros lentos no 1º ensaio.

As eficiências médias obtidas no decorrer deste ensaio foram de 22,4% no pré-filtro, 28,5% no filtro lento de carvão e areia e 16,8% no filtro lento de areia, de tal modo que o filtro lento com carvão e areia apresentou eficiência 46% maior que a eficiência do filtro lento com areia. Essa melhor eficiência, encontrada no filtro com carvão e areia, já era esperada devido às características de adsorção da matéria orgânica, grande responsável pela presença de cor aparente na água, inerente ao carvão ativo.

A Tabela 12 mostra a eficiência média, máxima e mínima da remoção de cor aparente podendo-se observar que no filtro lento com carvão o valor mínimo manteve mais próximo ao médio.

Tabela 12. Valores Médios, Máximos e Mínimos de Eficiência de Remoção de Cor Aparente no Pré-Filtro e Filtros Lentos no 1º Ensaio, em % de remoção.

	Média	Máxima	Mínima
Pré Filtro	23,0	31,3	21,3
Filtro de Carvão e Areia	41,1	41,8	28,4
Filtro de Areia	5,0	24,6	9,8

5.2.6. Demanda Química de Oxigênio

No presente ensaio, bem como no de número 2, houve problemas de contaminação dos reagentes utilizados para as análises de DQO, levando a desconsideração desses dados. Nos ensaios de subseqüentes, os problemas foram resolvidos e poder-se-á notar que ocorre uma significativa redução dessa demanda com a utilização da pré-filtração e filtração lenta.

5.2.7. Coliformes Totais e *E.Coli*

A presença coliformes totais no efluente tratado pelas wetlands e conseqüentemente no afluente ao Pré-Filtro foi, em média, da ordem 10^6 , e de *E.Coli*, de 10^5 , como mostra a Tabela 13, onde nota-se que os valores máximos e mínimos também tiveram pouco distanciamento do valor médio.

Tabela 13. Valores médios, máximos e mínimos de concentração de coliformes totais e *E.Coli* no Pré-Filtro e Filtros Lentos no 1º Ensaio, em NMP/100mL.

	Coliformes Totais			<i>E.Coli</i>		
	Média	Máxima	Mínima	Média	Máxima	Mínima
Afluente ao Pré-Filtro	$1,4 \times 10^6$	$2,4 \times 10^6$	$6,9 \times 10^5$	$4,2 \times 10^5$	$6,1 \times 10^5$	$1,7 \times 10^5$
Efluente do Pré Filtro	$4,0 \times 10^5$	$5,5 \times 10^5$	$2,0 \times 10^5$	$1,4 \times 10^5$	$1,7 \times 10^5$	$7,2 \times 10^4$
Efluente do Filtro de Carvão e Areia	$9,0 \times 10^4$	$2,0 \times 10^5$	$2,5 \times 10^4$	$3,1 \times 10^4$	$6,2 \times 10^4$	$1,1 \times 10^4$
Efluente do Filtro de Areia	$1,3 \times 10^5$	$2,9 \times 10^5$	$4,6 \times 10^4$	$2,9 \times 10^4$	$5,8 \times 10^4$	$1,2 \times 10^4$

Os efluentes finais dos filtros lentos apresentaram, em media, concentrações da ordem de 10^5 para coliformes totais e 10^4 para *E.Coli* , tais valores são próximos aos obtidos na pesquisa desenvolvidas por LONDE (2002) utilizando apenas filtro lento e representam a eficiência global de remoção dos sistemas mostradas na Tabela 14.

Tabela 14. Valores Médios de Eficiência de Remoção de Coliformes Totais e *E.Coli* no Pré-Filtro e Filtros Lentos no 1º Ensaio, em % de remoção.

	Col. Totais	<i>E.Coli</i>
Pré Filtro + Filtro de Areia	90	93
Pré Filtro + Filtro de Areia e Carvão	93	92

Embora tenham sido obtidas elevadas porcentagens de remoção de Coliformes Totais e *E. coli* nos filtros lentos o que é uma característica destes sistemas de filtração. Nota-se que os valores de concentração desses microrganismos no efluente final são ainda elevados, por se tratar de efluentes de sistemas de tratamento de esgotos domésticos. Assim, pode-se afirmar que se faz necessária a aplicação de algum método de desinfecção para inativar ou reduzir a concentração desses microrganismos no efluente final, a fim de minimizar riscos de contaminação de corpos receptores e principalmente de atividades de reuso do efluente.

5.2.8. Ferro Total

Os resultados obtidos neste ensaio mostram que houve aumento da concentração de ferro total ao longo do processo de pré-filtração e filtração lenta, provavelmente devido existência de partes metálicas na estrutura dos filtros (grade suporte do meio filtrante e caixa dosadora), sendo o máximo valor de concentração de ferro foi de $1,8 \text{ mgL}^{-1}$. Essa concentração, no entanto, não compromete a qualidade de corpos receptores quando do lançamento do efluente, bem como de atividades de reuso.

5.2.9. Manganês Total, pH, Temperatura e Oxigênio Dissolvido

Os resultados desses parâmetros foram reunidos em um único sub-item, pois não apresentaram variações significativas no efluente a ser filtrado nem ao longo do processo de pré-filtração e filtração lenta, sendo considerados apenas como parâmetros de acompanhamento do processo e não de avaliação de eficiência.

A concentração de manganês total esteve constante entre 0,108 e 0,11 mgL⁻¹ ao longo de todo o ensaio.

O pH oscilou entre 6,7 e 7,4 durante todo o período de amostragem, não sendo esta pequena amplitude representativa de alguma variação na composição química o efluente. O valor deste parâmetro manteve-se praticamente constante ao longo do tempo de ensaio e do processo de tratamento, ratificando os dados de literatura onde citam a não alteração das características químicas do efluente submetidos à processo de pré-filtração em pedregulho e filtração lenta. (Figura 23).

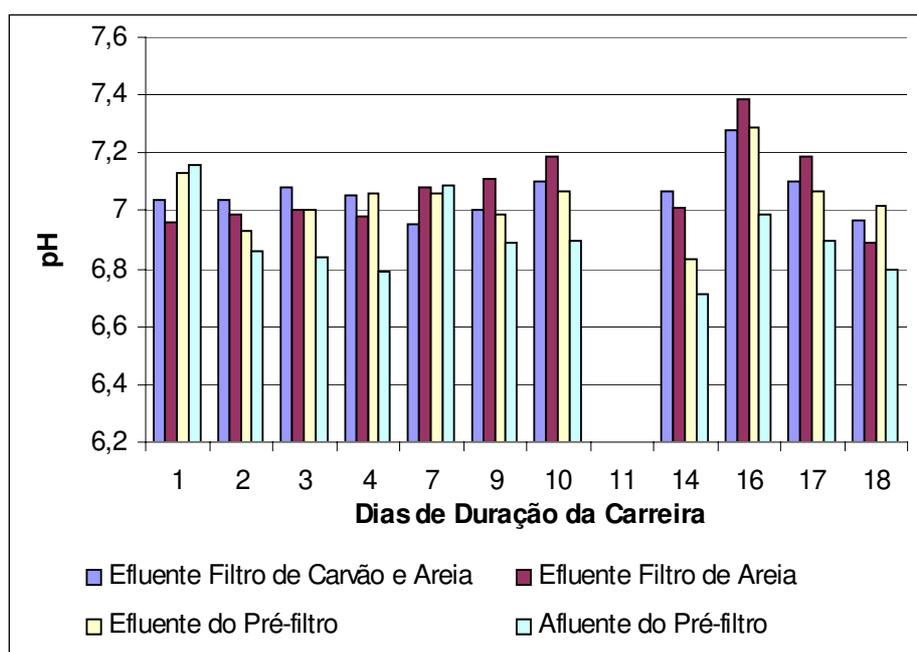


Figura 23. Valores de pH no 1º ensaio.

A Temperatura oscilou entre 18°C e 26°C, mantendo o valor médio de 22°C, e assim como o pH não teve alteração devido às etapas do processo. (Figura 24).

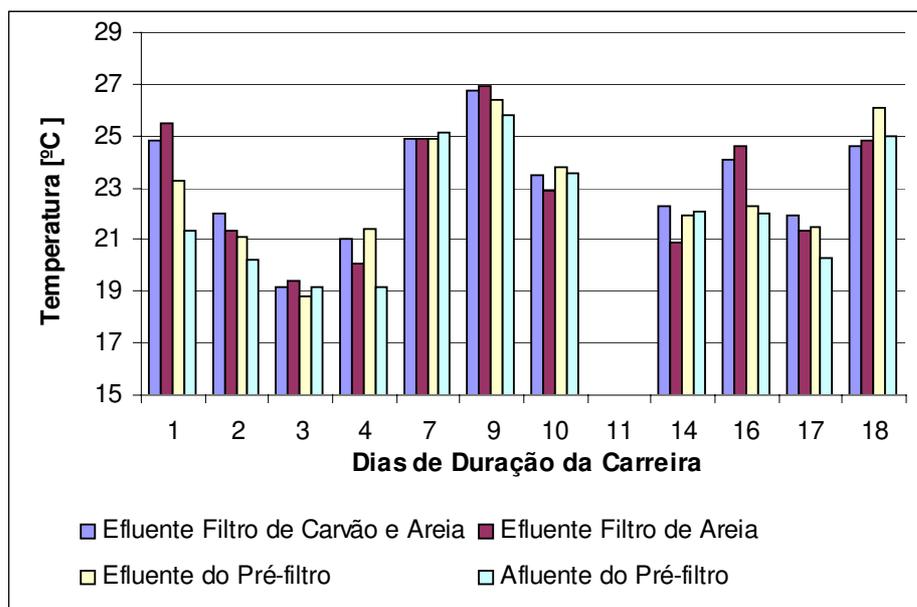


Figura 24. Valores de Temperatura no 1º ensaio.

O Oxigênio Dissolvido manteve um valor médio em torno de 3 mgL^{-1} , apresentado poucos valores acima de 5 mgL^{-1} ou abaixo de 1 mgL^{-1} , como mostra a Tabela 15. Não foi identificada nenhuma anormalidade que pudesse ser responsável pela pequena variação deste parâmetro.

Tabela 15. Valores de Oxigênio Dissolvido no 1º Ensaio.

Amostra	Entrada do Pré-filtro	Saída do Pré-filtro	Saída Filtro de Carvão e Areia	Saída Filtro de Areia
1	4,6	0,4	1,9	2,6
2	3,4	0,4	2	1,6
3	2,8	3,2	2,2	2
4	3,1	3,4	3,1	2
5	6,28	4,38	3,49	3,05
6	2,01	2,71	1,34	1,67
7	3,1	3,6	3	2,8
9	3,3	2,8	2	2,4
10	3,3	3,9	4,8	4,9
11	3,7	2,6	2,8	2,9
12	1,9	2,8	2,4	2,7
Média	3,4	2,7	2,6	2,6
Máxima	6,3	4,4	4,8	4,9
Mínima	1,9	0,4	1,3	1,6

5.3. Ensaio 2

5.3.1. Taxa de Filtração

Neste ensaio a taxa média de pré-filtração foi de $8,9\text{m}^3/\text{m}^2\text{dia}$, a taxa média de filtração de ambos os filtros lentos foi de $2,7\text{ m}^3/\text{m}^2\text{dia}$

5.3.2. Perda de Carga

As perdas de carga dos filtros alcançaram o valor de 70cm, considerado limitante, quando as carreiras de filtração estavam com 35 dias de duração (Figura 25).

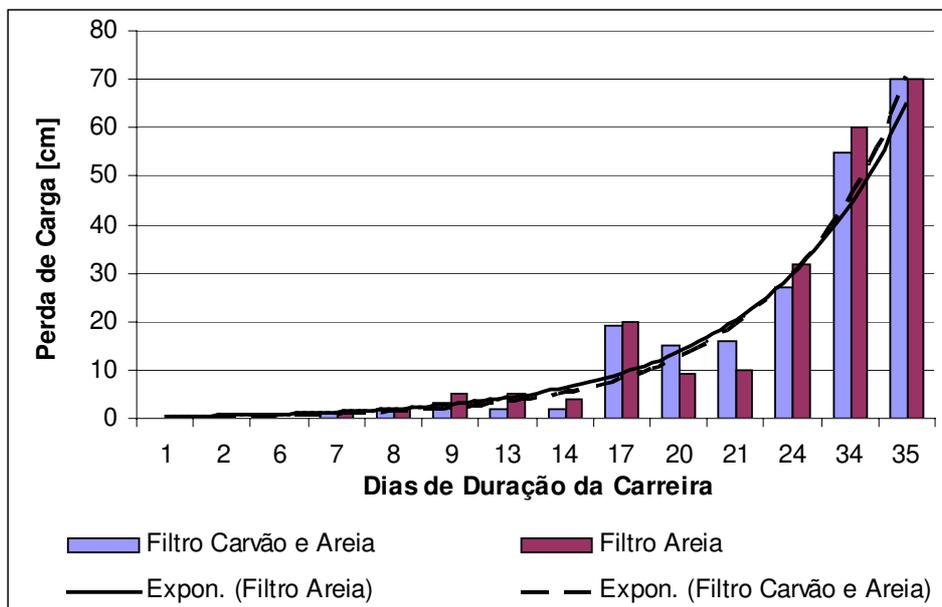


Figura 25. Evolução da perda de carga dos filtros lentos durante a carreira do 2º ensaio.

As curvas desenhadas como tendências da evolução da perda de carga dos filtros podem ser modeladas como exponenciais, sendo o filtro lento de areia representado na EQUAÇÃO 4 e o filtro lento de areia e carvão representado na EQUAÇÃO 5.

$$\Delta H_{Areia} = 0,2865e^{0,3874d} \quad R^2 = 0,89 \quad \text{EQUAÇÃO 4}$$

$$\Delta H_{Areia_Carvão} = 0,1717e^{0,4297d} \quad R^2 = 0,89 \quad \text{EQUAÇÃO 5}$$

onde: ΔH = perda de carga, em cm

d = tempo de duração da carreira, em dias

Os coeficientes das equações e a análise gráfica mostra que neste ensaio ambos os filtros tiveram a evolução da perda de carga semelhante.

5.3.3. Sólidos em Suspensão

A remoção de sólidos em suspensão na unidade de pré-filtração teve eficiência média de 77,8%, conferindo assim ao efluente um valor médio de concentração de sólidos em suspensão de $6,8 \text{ mgL}^{-1}$ e máximo de $15,0 \text{ mgL}^{-1}$. E portanto o efluente dos filtros lentos possuiam concentrações próximas ao valor mínimo detectável pela balança, em geral valores 0 ou 5 mgL^{-1} , demonstrando a excelente qualidade do efluente no que diz respeito a tal parâmetro.

5.3.4. Turbidez

A remoção da turbidez mostrou-se eficaz ao longo do tratamento como mostra a Figura 26, onde nota-se que em apenas 4 amostras o efluente dos filtros lentos apresentou turbidez superior ao afluente do pré-filtro devido à liberação de impurezas aderidas ao tubo coletor.

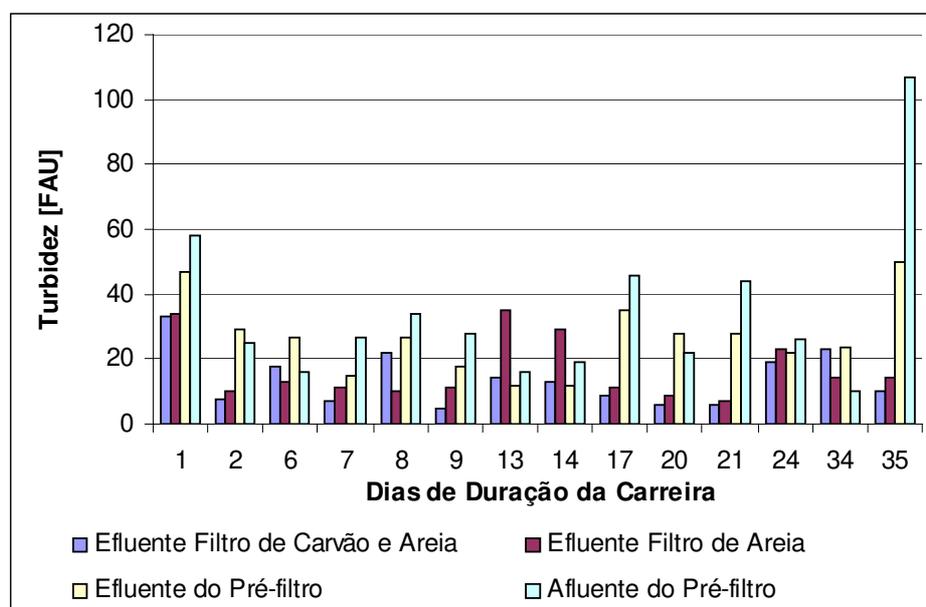


Figura 26. Valores de turbidez das amostras coletadas no pré-filtro e filtros lentos no 2º ensaio.

As eficiências médias de remoção de turbidez obtidas no decorrer deste ensaio foram de 21,8% no pré-filtro, 48,4% no filtro lento de carvão e areia e 38,2% no filtro lento de areia, de tal modo que o efluente filtrado possui baixos valores de turbidez, como mostra a Tabela 16.

Tabela 16. Valores Médios, Máximos e Mínimos de Turbidez no Pré-Filtro e Filtros Lentos no 2º Ensaio, em FAU.

	Média	Máxima	Mínima
Afluente do Pré-Filtro	34,1	107,0	10,0
Efluente do Pré Filtro	26,7	50,0	12,0
Efluente do Filtro de Carvão e Areia	13,8	33,0	5,0
Efluente do Filtro de Areia	16,5	35,0	7,0

5.3.5. Cor Aparente

Nota-se que o efluente os filtros lentos possuem cor aparente inferior ao afluente do pré-filtro, exceto 2 amostras (dias 6 e 34), devido a contaminação causada pela agitação dos tubos coletores durante a coleta que provocou desprendimento de material aderido às paredes do tubo (figura 27).

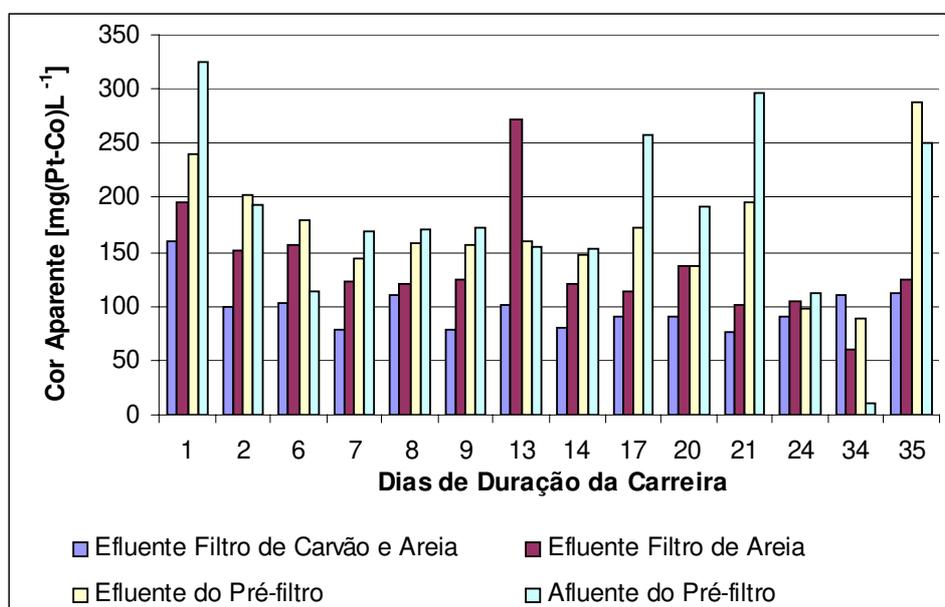


Figura 27. Valores de cor aparente das amostras coletadas no pré-filtro e filtros lentos no 2º ensaio.

As eficiências médias obtidas no decorrer deste ensaio foram de 7,9% no pré-filtro, 41,7% no filtro lento de carvão e areia e 19,5% no filtro lento de areia, de tal modo que, assim como no ensaio 1, o filtro lento com carvão e areia apresentou eficiência 53% maior que a eficiência do filtro lento cujo meio filtrante era composto apenas de areia.

A Tabela 17 mostra a eficiência média, máxima e mínima da remoção de cor aparente podendo-se observar que no filtro lento com carvão o valor mínimo manteve mais próximo ao médio.

Tabela 17. Valores Médios, Máximos e Mínimos de Eficiência de Remoção de Cor Aparente no Pré-Filtro e Filtros Lentos no 2º Ensaio, em %.

	Média	Máxima	Mínima
Pré Filtro	18,0	34,1	3,3
Filtro de Carvão e Areia	42,0	61,1	8,2
Filtro de Areia	27,7	56,6	12,8

5.3.6. Coliformes Totais e *E.Coli*

A presença coliformes totais no efluente tratado pelas wetlands e conseqüentemente no afluente ao Pré-Filtro foi, em média, da ordem 10^6 , e de *E.Coli*, de 10^5 , como mostra a Tabela 18, onde nota-se que os valores máximos e mínimos também tiveram pouco distanciamento do valor médio, como foi observado também no ensaio 1.

Tabela 18. Valores médios, máximos e mínimos de concentração de coliformes totais e *E.Coli* no Pré-Filtro e Filtros Lentos no 2º Ensaio, em NMP/100mL.

	Coliformes Totais			<i>E.Coli</i>		
	Média	Máxima	Mínima	Média	Máxima	Mínima
Afl. ao Pré-Filtro	$1,8 \times 10^6$	$2,4 \times 10^6$	$1,4 \times 10^5$	$5,8 \times 10^5$	$2,4 \times 10^6$	$1,4 \times 10^4$
Efl. do Pré Filtro	$1,8 \times 10^6$	$2,4 \times 10^6$	$1,9 \times 10^5$	$1,3 \times 10^6$	$9,8 \times 10^6$	$2,8 \times 10^3$
Efl. do Filtro de Carvão e Areia	$6,5 \times 10^5$	$2,4 \times 10^6$	$1,0 \times 10^5$	$3,1 \times 10^5$	$1,6 \times 10^6$	$7,3 \times 10^3$
Efl. do Filtro de Areia	$5,9 \times 10^5$	$2,4 \times 10^6$	$1,4 \times 10^4$	$3,4 \times 10^5$	$2,4 \times 10^6$	$6,3 \times 10^3$

Os efluentes finais dos filtros lentos apresentaram, em media, concentrações da ordem de 10^5 para coliformes totais e *E.Coli*, representando no ensaio 2 a eficiência global mostrada na Tabela 19.

Tabela 19. Valores Médios de Eficiência de Remoção de Coliformes Totais e *E.Coli* no Pré-Filtro e Filtros Lentos no 2º Ensaio, em %.

	Col. Totais	<i>E.Coli</i>
Pré Filtro + Filtro de Areia	67,1	46,5
Pré Filtro + Filtro de Areia e Carvão	63,7	41,3

As porcentagens de eficiências de remoção de Coliformes Totais e *E. coli*, foram neste ensaio inferiores as do ensaio anterior devido à alta concentração de coliformes no afluente. Nota-se também que a concentração do afluente é também mais elevada que no ensaio 1, e tal resultado confirma que se faz necessário a aplicação de algum método de desinfecção para inativar, ou reduzir a concentração desses microrganismos, no efluente final.

5.3.7. Ferro Total

Os resultados obtidos neste ensaio, assim com no ensaio anterior, mostram que houve aumento da concentração de ferro total ao longo do processo de pré-filtração e filtração lenta, sendo o máximo valor de com concentração de ferro foi de $2,7\text{mgL}^{-1}$. Essa concentração, no entanto, não compromete a qualidade de corpos receptores quando do lançamento do efluente, bem como de atividades de reuso.

5.3.8. Parâmetros de Pequena Variação

5.3.8.1. Manganês

A concentração de manganês total esteve constante entre $0,08$ e $0,23\text{mgL}^{-1}$ ao longo de todo o ensaio.

5.3.8.2. pH

O pH oscilou entre 5,9 e 7,2 durante todo o período de amostragem, não sendo esta pequena amplitude representativa de alguma variação na composição química o efluente. O valor deste parâmetro manteve-se praticamente constante ao longo do tempo de ensaio e do processo de tratamento, ratificando os dados de literatura onde citam a não alteração das características químicas do efluente submetidos à processo de pré-filtração em pedregulho e filtração lenta. (Figura 28).

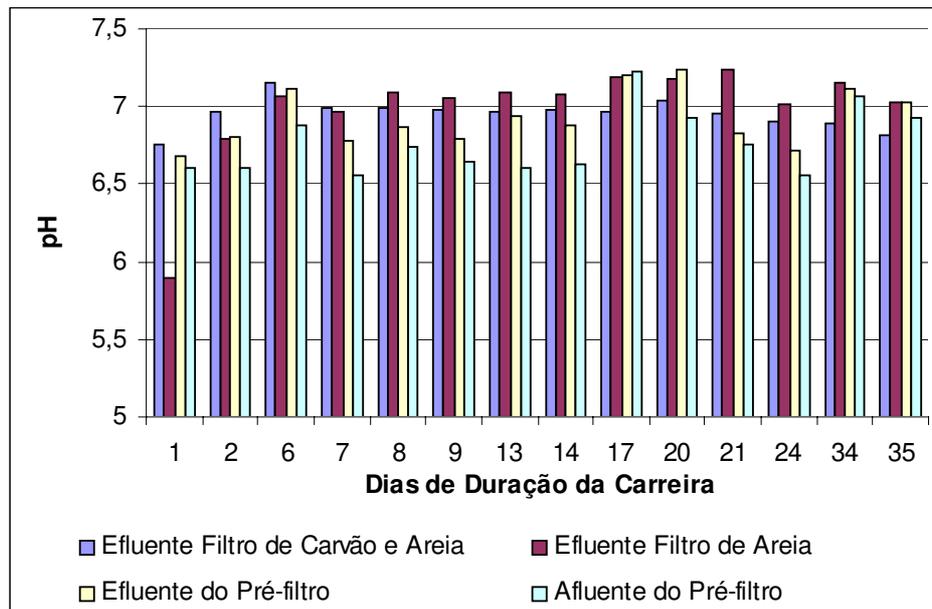


Figura 28. Valores de pH no 2º ensaio.

5.3.8.3. Temperatura

A Temperatura oscilou entre 23,5°C e 31,4°C, mantendo o valor médio de 28°C, e assim como o pH não teve alteração devido às etapas do processo. (Figura 29).

Neste ensaio a temperatura foi em média 6°C maior que no ensaio 1, mas o valor atingido não afeta a camada biológica dos filtros lentos (schmutzdecke) não havendo portanto alteração no processo devido a diferença de temperatura do efluente.

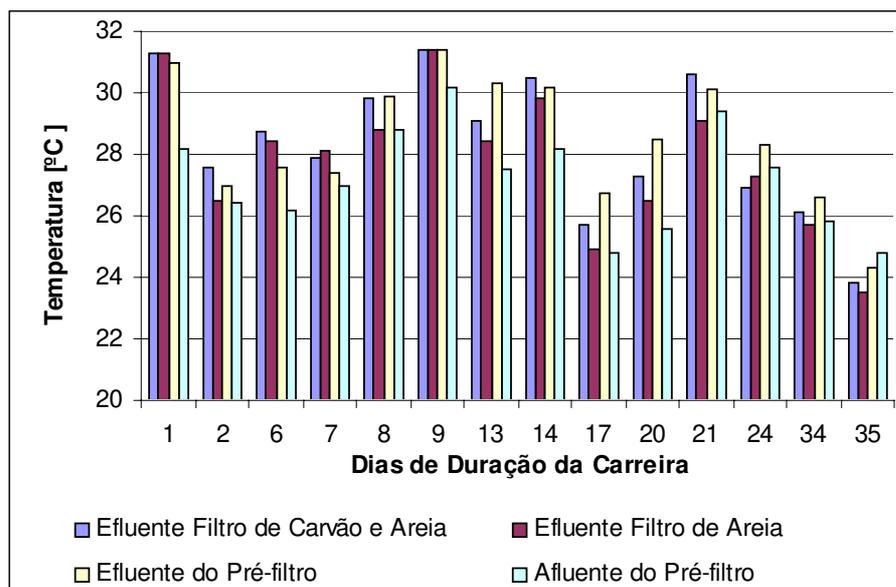


Figura 29. Valores de Temperatura no 2º ensaio.

5.3.8.4. Oxigênio Dissolvido

O Oxigênio Dissolvido manteve valores semelhantes ao ensaio 1, tendo valor médio em torno de 3 mgL^{-1} , apresentado poucos valores acima de 5 mgL^{-1} ou abaixo de 1 mgL^{-1} , como mostra a Tabela 20. Não foi identificada nenhuma anormalidade que pudesse ser responsável pela pequena variação deste parâmetro.

Tabela 20. Valores de Oxigênio Dissolvido no 2º Ensaio.

Amostra	Entrada do Pré-filtro	Saída do Pré-filtro	Saída Filtro de Carvão e Areia	Saída Filtro de Areia
1	3,22	1,29	2,54	3,27
2	2,98	3,4	1,92	1,58
3	4,1	4,43	4,47	3,12
4	3,62	5,13	4,44	4,28
5	5,05	3,87	2,55	2,61
6	5,2	4,75	4,18	3,75
7	4,58	4,58	2,63	2,11
8	4,01	3,96	4,44	4,01
9	2,7	1,51	3,21	2,16
10	1,98	3,07	3,18	1,95
11	1,94	2,88	2,23	2,3
12	1,21	2,03	1,27	1,62
13	2,88	6,82	6,01	4,53
14	3,35	5,8	3,84	2,89
Média	3,3	3,8	3,4	2,9
Máxima	5,2	6,8	6,0	4,5

5.4. Ensaio 3

5.4.1. Taxa de Filtração

Neste ensaio a taxa média de pré-filtração foi de $8,7\text{m}^3/\text{m}^2\text{dia}$, do filtros lentos de areia foi $2,7\text{m}^3/\text{m}^2\text{dia}$ e do filtro lento de areia e carvão foi de $2,6\text{m}^3/\text{m}^2\text{dia}$. Para efeito de comparação pode-se considerar que os dois filtros lentos operaram com a mesma taxa de filtração.

5.4.2. Perda de Carga

As perdas de carga dos filtros alcançaram o valor de 70cm, considerado limitante, quando as carreiras de filtração estavam com 28 dias de duração (Figura 30).

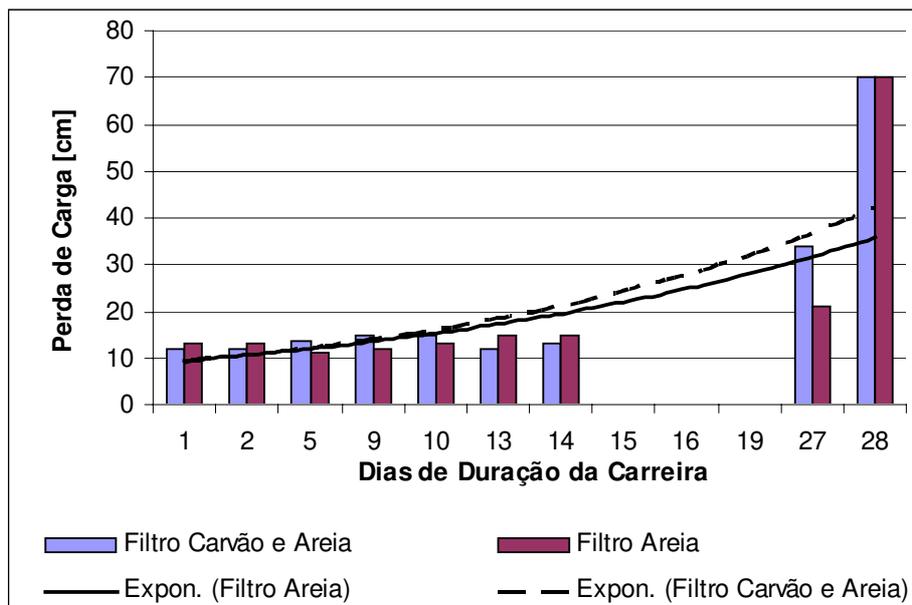


Figura 30. Evolução da perda de carga dos filtros lentos durante a carreira do 3º ensaio.

As curvas desenhadas como tendências da evolução da perda de carga dos filtros podem ser modeladas como exponenciais, sendo o filtro lento de areia representado na EQUAÇÃO 6 e o filtro lento de areia e carvão representado na EQUAÇÃO 7.

$$\Delta H_{Areia} = 8,3637e^{0,1210d}$$

$$R^2 = 0,65$$

$$\text{EQUAÇÃO 6}$$

$$\Delta H_{\text{Areia_Carvão}} = 8,0586e^{0,1379d} \quad R^2 = 0,73 \quad \text{EQUAÇÃO 7}$$

onde: ΔH = perda de carga, em cm

d = tempo de duração da carreira, em dias

Os coeficientes das equações e a análises gráfica mostra que neste ensaio ambos os filtros tiveram a evolução da perda de carga semelhantes, assim como no ensaio 2 e diferentemente do ensaio 1 onde apenas o filtro lento de carvão e areia teve perda de carga inicial próxima à 10cm, neste ensaio ambos os filtros lentos tiveram um valor de perda de carga inicial de 8cm.

Nos dias 15, 16 e 17 não se realizaram ensaios por ausência de afluente devido ao entupimento da rede de abastecimento.

5.4.3. Sólidos em Suspensão

A eficiência de remoção de sólidos em suspensão não teve valores significativos quando quantificado em valores numéricos, pois o afluente teve concentração inicial média de 10,0mg/L que é um valor muito baixo, porém o efluente a ser tratado possui concentrações menores que a afluente indicando que houve redução de sólidos em suspensão pelos processos de pré-filtração e filtração lenta, como mostra a Tabela 21.

Tabela 21. Valores Médios, Máximos e Mínimos de Concentração de Sólidos em Suspensão no Pré-Filtro e Filtros Lentos no 3º Ensaio, em mg/L.

	Média	Máxima	Mínima
Afluente ao Pré-Filtro	10,0	15,0	5,0
Efluente do Pré-Filtro	10,0	15,0	5,0
Efluente do Filtro de Carvão e Areia	3,8	5,0	0,0
Efluente do Filtro de Areia	6,3	10,0	5,0

5.4.4. Turbidez

A remoção da turbidez, assim como nos ensaios anteriores, mostrou-se eficaz ao longo das unidades experimentais de tratamento como mostra a Figura 31.

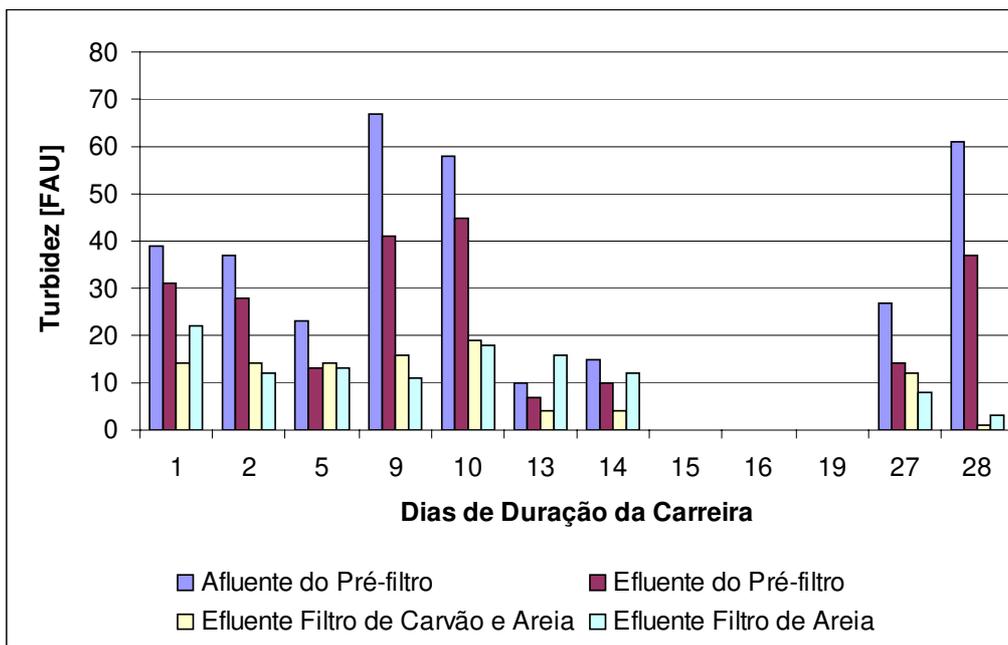


Figura 31. Valores de turbidez das amostras coletadas no pré-filtro e filtros lentos no 3º ensaio.

As eficiências médias de remoção de turbidez obtidas no decorrer deste ensaio foram de 32,9% no pré-filtro, 56,6% no filtro lento de carvão e areia e 49,0% no filtro lento de areia, de tal modo que o efluente filtrado possui baixos valores de turbidez, como mostra a Tabela 22 e como já apresentou os resultados dos ensaios 1 e 2.

Tabela 22. Valores Médios, Máximos e Mínimos de Turbidez no Pré-Filtro e Filtros Lentos no 3º Ensaio, em FAU.

	Média	Máxima	Mínima
Afluente do Pré-Filtro	37,4	67,0	10,0
Efluente do Pré Filtro	25,1	45,0	7,0
Efluente do Filtro de Carvão e Areia	10,9	19,0	1,0
Efluente do Filtro de Areia	12,8	22,0	3,0

5.4.5. Cor Aparente

A remoção da cor aparente, do mesmo modo que a remoção de turbidez, mostrou-se eficaz ao longo das unidades experimentais, principalmente pelos filtros lentos, como mostra a Figura 32.

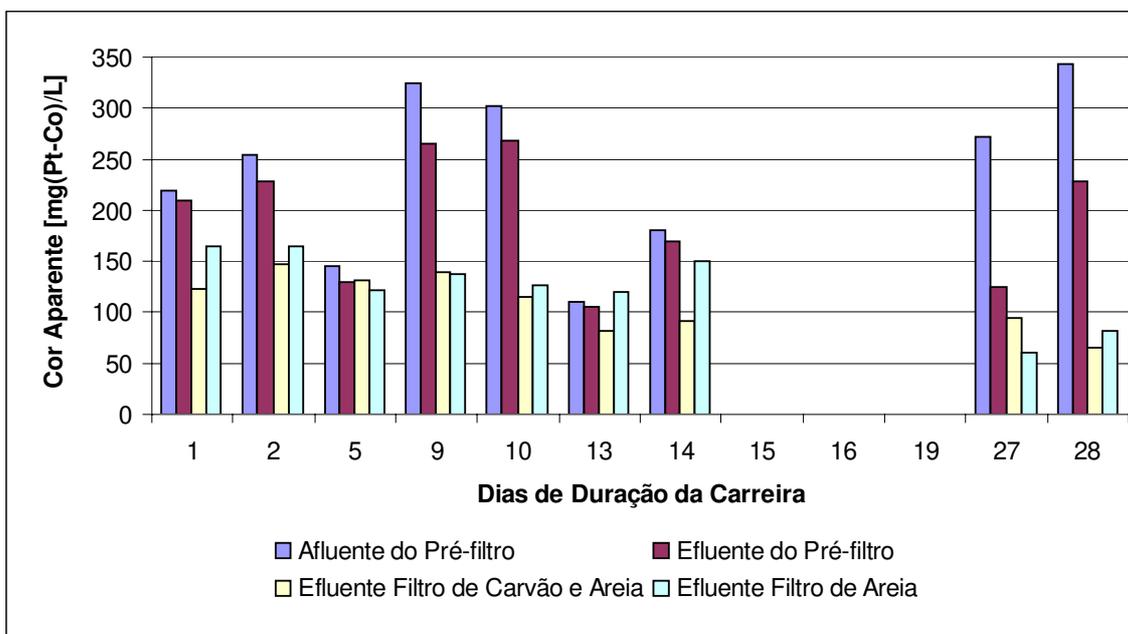


Figura 32. Valores de cor aparente das amostras coletadas no pré-filtro e filtros lentos no 3º ensaio.

As eficiências médias obtidas no decorrer deste ensaio foram de 19,6% no pré-filtro, 42,9% no filtro lento de carvão e areia e 35,0% no filtro lento de areia.

A Tabela 23 mostra a eficiência média, máxima e mínima da remoção de cor aparente podendo-se observar que no filtro lento com carvão o valor mínimo manteve mais próximo ao médio.

Tabela 23. Valores Médios, Máximos e Mínimos de Eficiência de Remoção de Cor Aparente no Pré-Filtro e Filtros Lentos no 3º Ensaio, em %.

	Média	Máxima	Mínima
Pré Filtro	17,1	54,0	4,5
Filtro de Carvão e Areia	43,3	71,6	21,9
Filtro de Areia	35,6	64,2	6,2

5.4.6. Demanda Química de Oxigênio

No decorrer do presente ensaio os problemas operacionais referentes às análises de DQO foram resolvidos.

Os valores obtidos do afluente apresentaram média de 46,9mg/L, sendo reduzido gradativamente até o efluente dos filtros lentos que apresentaram valores médios de 22,2mg/L no filtro lento de carvão e areia e 34,6mg/L no filtro lento de areia (Tabela 24).

Tabela 24. Valores Médios, Máximos e Mínimos de Demanda Química de Oxigênio no Pré-Filtro e Filtros Lentos no 3º Ensaio, em mg[O₂]/L.

	Média	Máxima	Mínima
Afluente do Pré-Filtro	46,9	65,3	22,6
Efluente do Pré Filtro	38,1	60,3	10,0
Efluente do Filtro de Carvão e Areia	22,2	38,0	10,0
Efluente do Filtro de Areia	34,6	55,2	4,3

5.4.7. Coliformes Totais e *E.Coli*

A presença coliformes totais e *E.Coli* no efluente tratado pelas wetlands e conseqüentemente no afluente ao Pré-Filtro foi, em média, da ordem 10⁵, como mostra a Tabela 25, onde comparando-se com os valores dos ensaios anteriores é uma casa logarítmica menor.

Tabela 25. Valores médios, máximos e mínimos de concentração de coliformes totais e *E.Coli* no Pré-Filtro e Filtros Lentos no 3º Ensaio, em NMP/100mL.

	Coliformes Totais			<i>E.Coli</i>		
	Média	Máxima	Mínima	Média	Máxima	Mínima
Afl. ao Pré-Filtro	3,2 x 10 ⁵	8,7 x 10 ⁵	7,4 x 10 ⁴	1,2 x 10 ⁵	3,4 x 10 ⁵	4,5 x 10 ⁴
Efl. do Pré Filtro	2,4 x 10 ⁵	6,1 x 10 ⁵	5,2 x 10 ⁴	9,2 x 10 ⁴	2,6 x 10 ⁵	2,2 x 10 ⁴
Efl. do Filtro de Carvão e Areia	5,7 x 10 ⁴	9,9 x 10 ⁵	1,5 x 10 ⁴	1,4 x 10 ⁴	3,7 x 10 ⁴	2,9 x 10 ³
Efl. do Filtro de Areia	1,1 x 10 ⁵	2,1 x 10 ⁵	8,3 x 10 ³	2,4 x 10 ⁴	4,0 x 10 ⁴	6,3 x 10 ³

Os efluentes finais dos filtros lentos apresentaram, entretanto, concentrações das ordens 10^5 e 10^4 como também pode ser visto na Tabela 25, e nos resultados dos ensaios anteriores.

Os valores referentes à eficiência no ensaio 3 pode ser visto na Tabela 26.

Tabela 26. Valores Médios de Eficiência de Remoção de Coliformes Totais e *E.Coli* no Pré-Filtro e Filtros Lentos no 3º Ensaio, em %.

	Col. Totais	<i>E.Coli</i>
Pré Filtro + Filtro de Areia	65	80
Pré Filtro + Filtro de Areia e Carvão	82	88

Os valores de eficiência deste ensaio são menores que dos ensaios anteriores, porém essa redução deve-se a menores concentrações no afluente do pré-filtros e valores semelhantes no efluente dos filtros lentos, indicando que pode haver uma limitação na qualidade do efluente dos filtros lentos, para as condições operacionais adotadas nesta pesquisa e justificando novamente a necessidade de sistemas de desinfecção para adequar o efluente final à usos que exigem segurança sanitária.e minimizar riscos de contaminação de corpos receptores.

5.4.8. Ferro Total

Os resultados das análises de ferro total tiveram os mesmos valores dos ensaios anteriores, onde houve aumento da concentração de ferro ao longo do processo de pré-filtração e filtração lenta.

Neste ensaio o valor máximo foi de $3,2\text{mgL}^{-1}$, obtido no efluente do filtro lento com carvão e areia, indicando um aumento em relação aos ensaios 1 e 2 que foram de $1,8\text{mgL}^{-1}$ e $2,7\text{mgL}^{-1}$, respectivamente.

5.4.9. Parâmetros de Pequena Variação

5.4.9.1. Manganês

A concentração de manganês total esteve constante entre 0,08 e 0,17 mgL⁻¹ ao longo de todo o ensaio, mantendo a tendência observada nos ensaios anteriores.

5.4.9.2. pH

O pH das amostras do ensaio 3 oscilou entre 6,7 e 7,8 durante todo o período de amostragem, e do mesmo modo que foi observado nos ensaios 1 e 2 a pequena variação não representou alteração na composição química o efluente. (Figura 33).

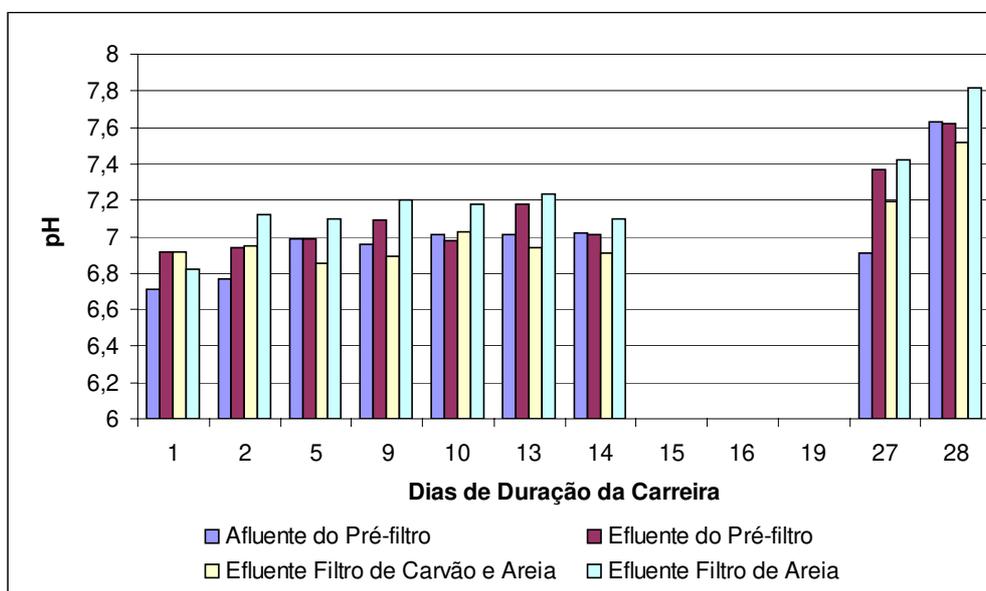


Figura 33. Valores de pH no 3º ensaio.

5.4.9.3. Temperatura

A Temperatura oscilou entre 21,3°C e 29,4°C, mantendo o valor médio de 26°C, e assim como o pH não teve alteração devido às etapas do processo. (Figura 33).

Neste ensaio a temperatura média e os valores máximos e mínimos não atingiram valores limitantes do desenvolvimento da camada biológica dos filtros lentos (schmutzdecke) não havendo portanto, alteração no processo devido a diferença de temperatura do efluente.

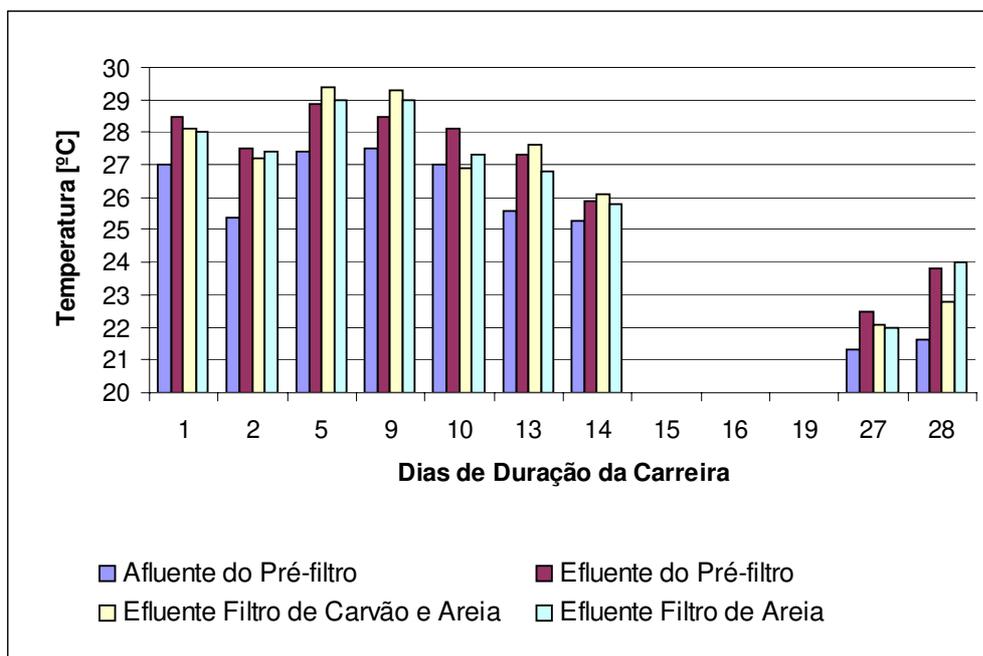


Figura 34. Valores de Temperatura no 3º ensaio.

5.4.9.4. Oxigênio Dissolvido

O Oxigênio Dissolvido manteve valores semelhantes aos ensaios 1 e, tendo valor médio em torno de 3 mgL^{-1} , apresentado poucos valores acima de 5 mgL^{-1} ou abaixo de 1 mgL^{-1} , como mostra a Tabela 27. Não foi identificada nenhuma anormalidade que pudesse ser responsável pela pequena variação deste parâmetro.

Tabela 27. Valores de Oxigênio Dissolvido no 3º Ensaio.

Amostra	Entrada do Pré-filtro	Saída do Pré-filtro	Saída Filtro de Carvão e Areia	Saída Filtro de Areia
1	3,13	4,75	3,95	2,41
2	0,73	2,61	2,35	1,55
5	4,54	3,6	1,44	1,34
9	4,31	3,92	2,08	1,21
10	4,01	3,75	2,01	1,89
13	0,89	3,15	1,58	1,68
14	1,12	2,58	1,96	1,62
27	2,91	3,61	5,62	3,67
28	3,06	2,99	3,55	3,18
Média	2,7	3,4	2,7	2,1
Máxima	4,5	4,8	5,6	3,7
Mínima	0,7	2,6	1,4	1,2

5.5. Ensaio 4.

5.5.1. Taxa de Filtração

Neste ensaio a taxa média de pré-filtração foi de $8,4\text{m}^3/\text{m}^2\text{dia}$, do filtros lentos de foram $2,8\text{m}^3/\text{m}^2\text{dia}$.

5.5.2. Perda de Carga

As perdas de carga dos filtros alcançaram o valor de 70cm, considerado limitante, quando as carreiras de filtração estavam com 33 dias de duração.

(Figura 35).

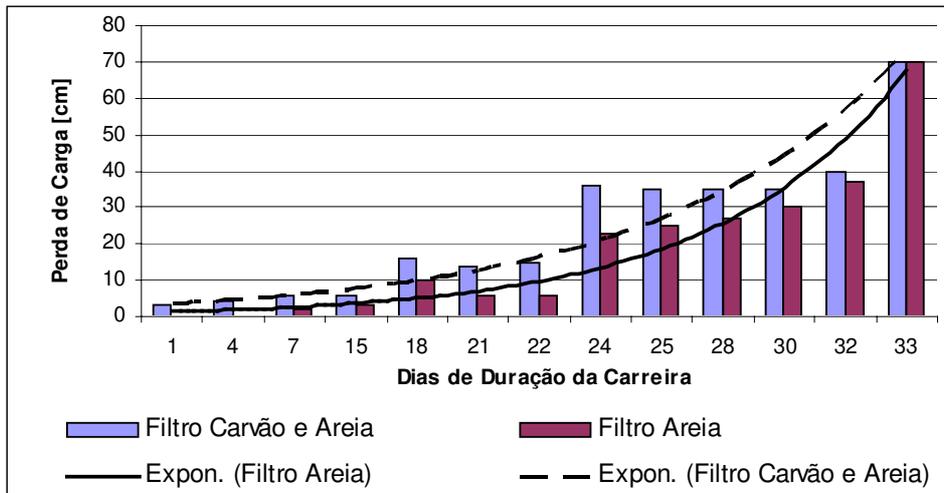


Figura 35. Evolução da perda de carga dos filtros lentos durante a carreira do 4º ensaio.

As curvas desenhadas como tendências da evolução da perda de carga dos filtros podem ser modeladas como exponenciais, sendo o filtro lento de areia representado na EQUAÇÃO 8 e o filtro lento de areia e carvão representado na EQUAÇÃO 9.

$$\Delta H_{Areia} = 1,0131e^{0,3232d} \quad R^2 = 0,89 \quad \text{EQUAÇÃO 8}$$

$$\Delta H_{Areia_Carvão} = 2,8778e^{0,2487d} \quad R^2 = 0,92 \quad \text{EQUAÇÃO 9}$$

onde: ΔH = perda de carga, em cm

d = tempo de duração da carreira, em dias

Os coeficientes das equações e a análises gráfica mostra que neste ensaio ambos os filtros tiveram a evolução da perda de carga semelhante, assim como no ensaio 2 e diferentemente do ensaio 1 onde apenas o filtro lento de carvão e areia teve perda de carga inicial próxima à 10cm.

5.5.3. Sólidos em Suspensão

A eficiência de remoção de sólidos em suspensão não teve valores significativos quando quantificado em valores numéricos, pois o afluente teve concentração inicial média de 13,3mg/L que é um valor muito baixo, porém o efluente a ser tratado possui concentrações menores que a afluente indicando que houve redução de sólidos em

suspensão pelos processos de pré-filtração e filtração lenta, como mostra a Tabela 28, do mesmo modo que nos ensaios anteriores.

Tabela 28. Valores médios, máximos e mínimos de Concentração de Sólidos em Suspensão no Pré-Filtro e Filtros Lentos no 4º Ensaio, em mg/L.

	Média	Máxima	Mínima
Afluente ao Pré-Filtro	13,3	15,0	10,0
Efluente do Pré-Filtro	10,0	15,0	5,0
Efluente do Filtro de Carvão e Areia	5,8	10,0	5,0
Efluente do Filtro de Areia	7,5	10,0	5,0

5.5.4. Turbidez

A remoção da turbidez, assim como nos ensaios anteriores, mostrou-se eficaz ao longo das unidades experimentais de tratamento como mostra a Figura 36.

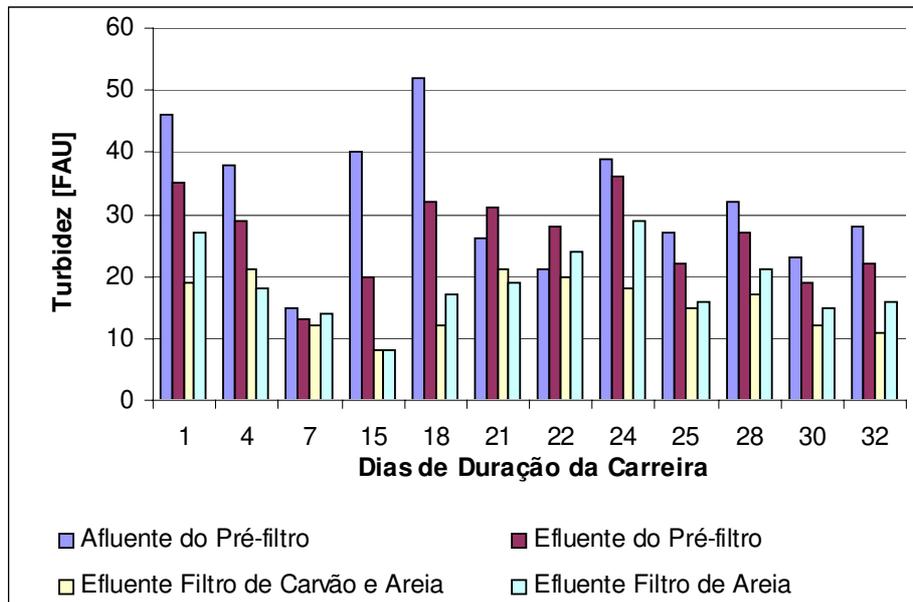


Figura 36. Valores de turbidez das amostras coletadas no pré-filtro e filtros lentos no 4º ensaio.

As eficiências médias de remoção de turbidez obtidas no decorrer deste ensaio foram de 18,9% no pré-filtro, 40,8% no filtro lento de carvão e areia e 28,7% no filtro lento de areia, de tal modo que o efluente filtrado possui baixos valores de turbidez, como mostra a Tabela 29, apesar da eficiência apresentada neste ensaio ser inferior aos ensaios anteriores.

Tabela 29. Valores médios, máximos e mínimos de Turbidez no Pré-Filtro e Filtros Lentos no 4º Ensaio, em FAU.

	Média	Máxima	Mínima
Afluente do Pré-Filtro	32,3	52,0	15,0
Efluente do Pré Filtro	26,2	36,0	13,0
Efluente do Filtro de Carvão e Areia	15,5	21,0	8,0
Efluente do Filtro de Areia	18,7	29,0	8,0

5.5.5. Cor Aparente

A remoção da cor aparente, do mesmo modo que a remoção de turbidez, mostrou-se eficaz ao longo das unidades experimentais, principalmente pelos filtros lentos, como mostra a Figura 37.

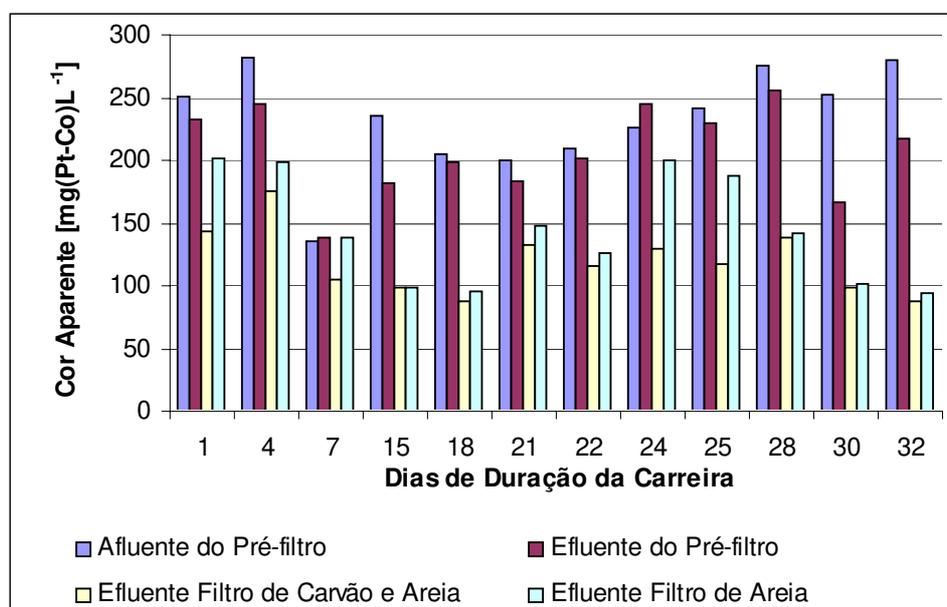


Figura 37. Valores de cor aparente das amostras coletadas no pré-filtro e filtros lentos no 4º ensaio.

As eficiências médias obtidas no decorrer deste ensaio foram de 10,6% no pré-filtro, 42,9% no filtro lento de carvão e areia e 30,7% no filtro lento de areia.

A Tabela 30 mostra a eficiência média, máxima e mínima da remoção de cor aparente podendo-se observar que os valores de ambos os filtros estão com valores máximos e mínimos similares, diferentemente dos outros ensaios onde o filtro lento com carvão e areia apresentou maior eficiência.

Tabela 30. Valores médios, máximos e mínimos de Eficiência de Remoção de Cor Aparente no Pré-Filtro e Filtros Lentos no 4º Ensaio, em %.

	Média	Máxima	Mínima
Pré Filtro	12,7	34,1	2,9
Filtro de Carvão e Areia	42,3	59,9	24,6
Filtro de Areia	33,2	56,7	13,4

5.5.6. Demanda Química de Oxigênio

Os valores obtidos do afluente apresentaram média de 38,5mg/L, sendo reduzido gradativamente até o efluente dos filtros lentos que apresentaram valores médios de 17,6mg/L no filtro lento de carvão e areia e 21,8mg/L no filtro lento de areia (Tabela 31), que são resultado semelhantes aos obtidos no ensaio 3, representando valores de eficiência de 54,2% no conjunto pré-filtro seguido e filtro lento de carvão e areia e 43,3% no conjunto pré-filtro seguido e filtro lento de areia.

Tabela 31. Valores médios, máximos e mínimos de Demanda Química de Oxigênio no Pré-Filtro e Filtros Lentos no 4º Ensaio, em mg[O₂]/L.

	Média	Máxima	Mínima
Afluente do Pré-Filtro	38,5	50,2	10,0
Efluente do Pré Filtro	20,5	22,6	15,1
Efluente do Filtro de Carvão e Areia	17,6	27,6	10,0
Efluente do Filtro de Areia	21,8	45,2	15,1

5.5.7. Coliformes Totais e *E.Coli*

A presença coliformes totais no efluente tratado pelas wetlands e conseqüentemente no afluente ao Pré-Filtro foi, em média, da ordem 10^6 , e de *E.Coli*, de 10^5 , como mostra a Tabela 32, onde nota-se que os valores máximos e mínimos também tiveram pouco distanciamento do valor médio, como foi observado também nos ensaios 1 e 2.

Tabela 32. Valores médios, máximos e mínimos de concentração de coliformes totais e *E.Coli* no Pré-Filtro e Filtros Lentos no 4º Ensaio, em NMP/100mL.

	Coliformes Totais			<i>E.Coli</i>		
	Média	Máxima	Mínima	Média	Máxima	Mínima
Afl. ao Pré-Filtro	$1,0 \times 10^6$	$2,4 \times 10^6$	$6,5 \times 10^4$	$1,7 \times 10^5$	$4,4 \times 10^5$	$3,4 \times 10^4$
Efl. do Pré Filtro	$6,3 \times 10^5$	$2,4 \times 10^6$	$9,9 \times 10^4$	$1,8 \times 10^5$	$3,4 \times 10^5$	$3,4 \times 10^4$
Efl. do Filtro de Carvão e Areia	$8,4 \times 10^4$	$2,3 \times 10^5$	$1,9 \times 10^4$	$5,3 \times 10^4$	$2,4 \times 10^5$	$2,9 \times 10^3$
Efl. do Filtro de Areia	$4,7 \times 10^5$	$2,4 \times 10^6$	$4,1 \times 10^4$	$6,8 \times 10^4$	$1,3 \times 10^5$	$1,2 \times 10^4$

Os efluentes finais dos filtros lentos apresentaram, em media, concentrações da ordem de 10^5 para coliformes totais e ordem de 10^4 para *E.Coli*, representando no ensaio 4 valores similares ao ensaio 2, e tendo a eficiência global mostrada na Tabela 33.

Tabela 33. Valores Médios de Eficiência de Remoção de Coliformes Totais e *E.Coli* no Pré-Filtro e Filtros Lentos no 4º Ensaio, em %.

	Col. Totais	<i>E.Coli</i>
Pré Filtro + Filtro de Areia	53,4	68,9
Pré Filtro + Filtro de Areia e Carvão	91,7	60,0

Os resultados continuam confirmando que se faz necessário a aplicação de algum método de desinfecção para inativar, ou reduzir a concentração desses microrganismos, no efluente final.

5.5.8. Ferro Total

Os resultados das análises de ferro total tiveram os mesmos valores dos ensaios anteriores, onde houve aumento da concentração de ferro ao longo do processo de pré-filtração e filtração lenta.

Neste ensaio o valor máximo foi de $2,6\text{mgL}^{-1}$, obtido no efluente do filtro lento com carvão e areia, indicando uma redução em relação à média do ensaio anterior e concentrações semelhantes aos ensaios 1 e 2.

5.5.9. Parâmetros de Pequena Variação

5.5.9.1. Manganês

A concentração de manganês total esteve constante entre $0,06$ e $0,16\text{mgL}^{-1}$ ao longo de todo o ensaio, mantendo a tendência observada nos ensaios anteriores.

5.5.9.2. pH

O pH das amostras do ensaio 4 oscilou entre 6,6 e 7,7 durante todo o período de amostragem, e do mesmo modo que foi observado nos ensaios anteriores, a pequena variação não representou alteração na composição química o efluente. (Figura 38).

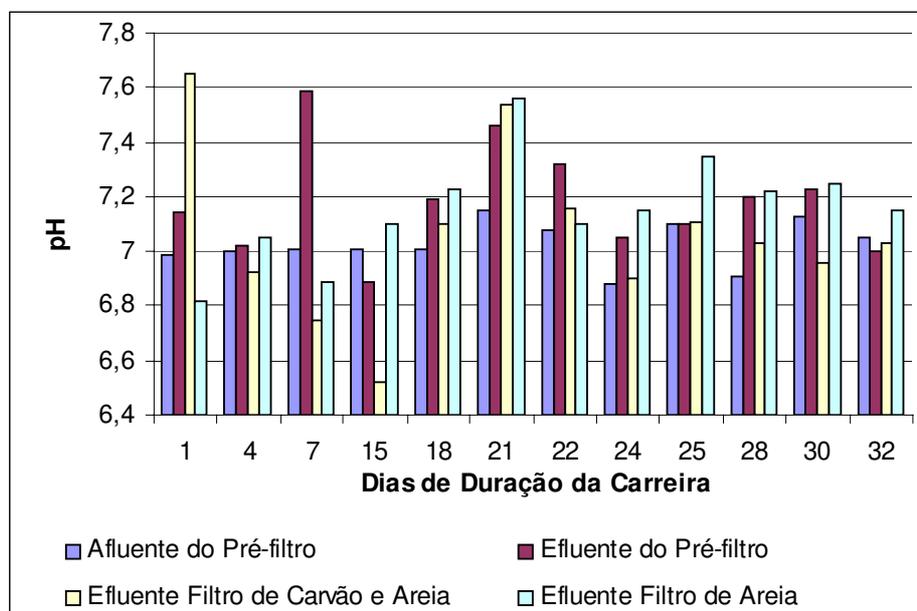


Figura 38. Valores de pH no 4º ensaio.

5.5.9.3. Temperatura

A temperatura oscilou entre 19,7°C e 26,8°C, mantendo o valor médio de 23°C, e assim como o pH não teve alteração devido às etapas do processo, (Figura 39).

Neste ensaio, assim como nos anteriores e como se esperava pelas características climáticas da região, a temperatura média e os valores máximos e mínimos não atingiram valores limitantes do desenvolvimento da camada biológica dos filtros lentos (schmutzdecke) não havendo portanto, alteração no processo devido a diferença de temperatura do efluente.

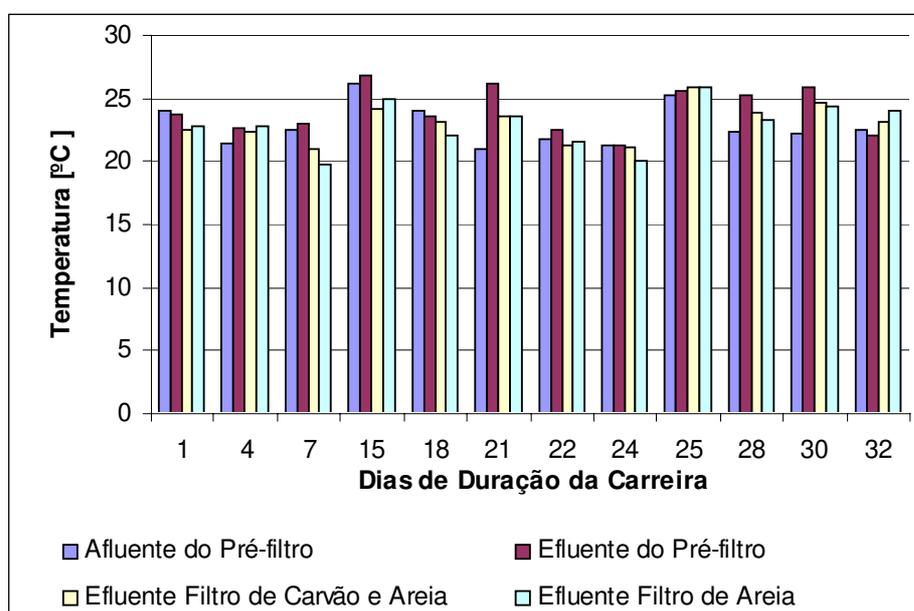


Figura 39. Valores de Temperatura no 4º ensaio.

5.5.9.4. Oxigênio Dissolvido

O Oxigênio Dissolvido manteve valores semelhantes aos ensaios anteriores, tendo valor médio em torno de 3 mgL⁻¹, apresentado poucos valores acima de 5 mgL⁻¹ ou abaixo de 1 mgL⁻¹, como mostra a Tabela 34. Não foi identificada nenhuma anormalidade que pudesse ser responsável pela pequena variação deste parâmetro.

Tabela 34. Valores de Oxigênio Dissolvido no 4º Ensaio em mg/L.

Amostra	Entrada do Pré-filtro	Saída do Pré-filtro	Saída Filtro de Carvão e Areia	Saída Filtro de Areia
1	5,01	3,96	2,25	3,19
4	3,95	3,22	3,41	2,27
7	3,1	3,09	2,4	1,48
15	3,53	2,59	2,08	1,69
18	1,97	2,29	3,19	2,5
21	1,63	2,85	1,46	1,69
22	1,89	2,71	2,02	1,97
24	3,18	4,26	5,23	2,83
25	3,98	3,8	3,95	2,57
28	1,14	4,22	2,79	3,06
30	1,18	2,08	0,94	1
32	1,14	2,64	1,98	1,67
Média	2,6	3,1	2,6	2,2
Máxima	5,0	4,3	5,2	3,2
Mínima	1,1	2,1	0,9	1,0

5.6. Ensaio 5

5.6.1. Taxa de Filtração

Neste ensaio a taxa média de pré-filtração foi de $8,5 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{dia}$, de filtração lenta em carvão e areia $2,7\text{m}^3/\text{m}^2\text{dia}$ e de filtração lenta em areia de $2,6 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{dia}$. Para efeito de comparação pode-se considerar que os dois filtros lentos operaram com a mesma taxa de filtração.

5.6.2. Perda de Carga

As perdas de carga dos filtros alcançaram o valor limite, considerado quando as carreiras de filtração estavam com 18 dias de duração da carreira. (Figura 40).

A duração dessa carreira foi mais curta que as anteriores possivelmente pela mudança no regime de geração de efluente da instalação experimental, pois o ensaio decorreu nos meses de junho/julho, onde partes das instalações prediais estavam fechadas devido ao período de férias escolares.

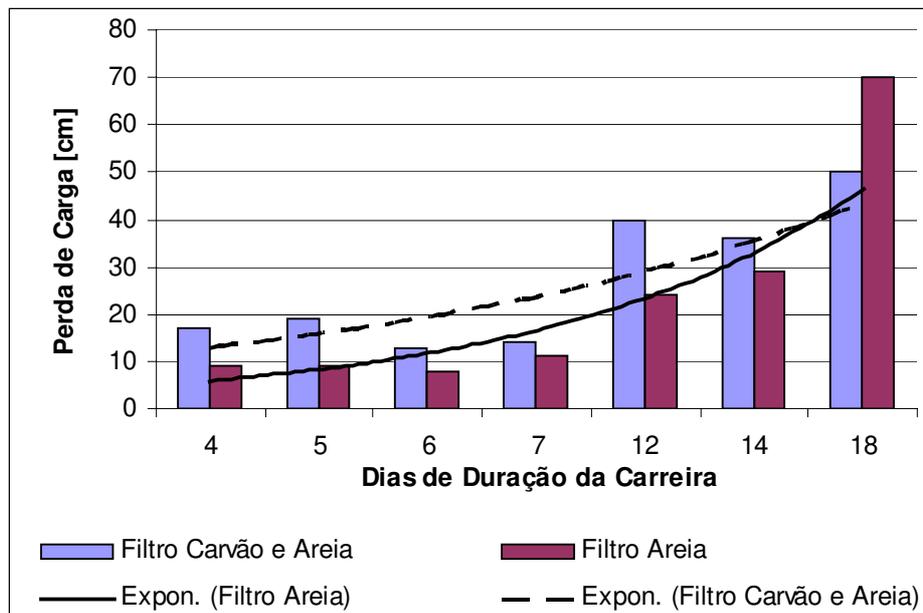


Figura 40. Evolução da perda de carga dos filtros lentos durante a carreira do 5º ensaio.

As curvas desenhadas como tendências da evolução da perda de carga dos filtros podem ser modeladas como exponenciais, sendo o filtro lento de areia representado na EQUAÇÃO 10 e o filtro lento de areia e carvão representado na EQUAÇÃO 11.

$$\Delta H_{Areia} = 4,2165e^{0,3426d} \quad R^2 = 0,82 \quad \text{EQUAÇÃO 10}$$

$$\Delta H_{Areia_Carvão} = 10,602e^{0,2014d} \quad R^2 = 0,62 \quad \text{EQUAÇÃO 11}$$

onde: ΔH = perda de carga, em cm

d = tempo de duração da carreira, em dias

Os coeficientes das equações e as análises gráficas mostram que neste ensaio ambos os filtros tiveram a evolução da perda de carga semelhante, apesar da pequena quantidade de dados disponíveis apresentar uma maior dificuldade de obter dados com precisão maior.

5.6.3. Sólidos em Suspensão

A concentração média de sólidos neste ensaio manteve baixa no afluente do pré-filtro, porém as unidades de pré-filtração e filtração lenta não demonstraram redução desses valores como mostra a Tabela 35.

Este foi o único ensaio onde a concentração de sólidos suspensos não foi reduzida ao longo das unidades experimentais de filtração lenta.

Tabela 35. Valores médios, máximos e mínimos de Concentração de Sólidos em Suspensão no Pré-Filtro e Filtros Lentos no 5º Ensaio, em mg/L.

	Média	Máxima	Mínima
Afluente ao Pré-Filtro	11,2	17,5	8,3
Efluente do Pré-Filtro	10,9	12,5	8,3
Efluente do Filtro de Carvão e Areia	8,6	15,6	3,4
Efluente do Filtro de Areia	12,9	17,4	2,5

5.6.4. Turbidez

A remoção da turbidez, assim como nos ensaios anteriores, mostrou-se eficaz ao longo das unidades experimentais de tratamento como mostra a Figura 41.

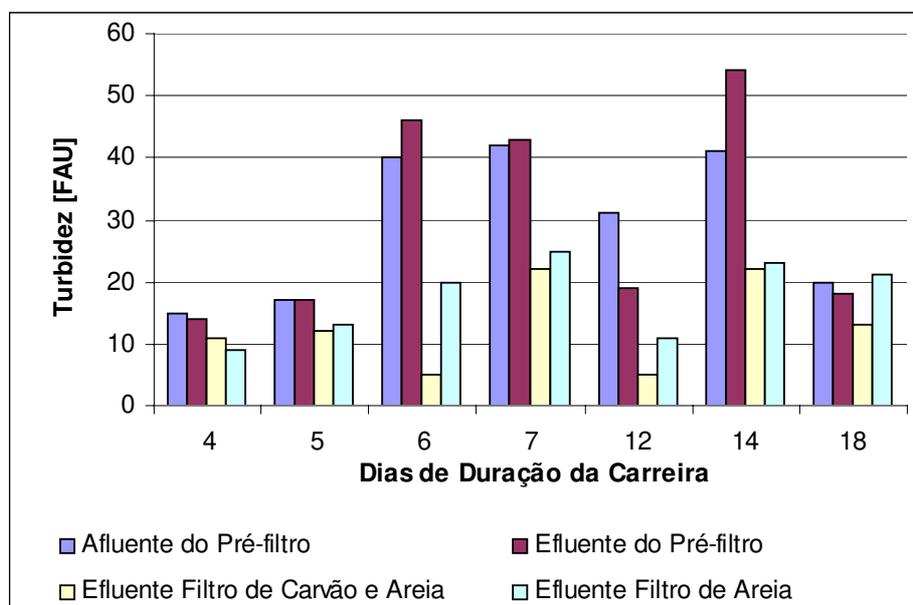


Figura 41. Valores de turbidez das amostras coletadas no pré-filtro e filtros lentos no 5º ensaio.

As eficiências médias de remoção de turbidez obtidas no decorrer deste ensaio foram, 49,9% no filtro lento de carvão e areia e 42,9% no filtro lento de areia, de tal modo que o efluente filtrado possui baixos valores de turbidez. O pré-filtro mostrou aumento da turbidez provavelmente devido à sua saturação, necessitando de uma descarga de fundo e limpeza, como mostra a Tabela 36.

Tabela 36. Valores Médios, Máximos e Mínimos de Turbidez no Pré-Filtro e Filtros Lentos no 5º Ensaio, em FAU.

	Média	Máxima	Mínima
Afluente do Pré-Filtro	29,4	42	15
Efluente do Pré Filtro	30,1	54	14
Efluente do Filtro de Carvão e Areia	12,9	22	5
Efluente do Filtro de Areia	17,4	25	9

5.6.5. Cor Aparente

A remoção da cor aparente, do mesmo modo que a remoção de turbidez, mostrou-se eficaz ao longo das unidades experimentais, principalmente pelos filtros lentos, como mostra a Figura 42.

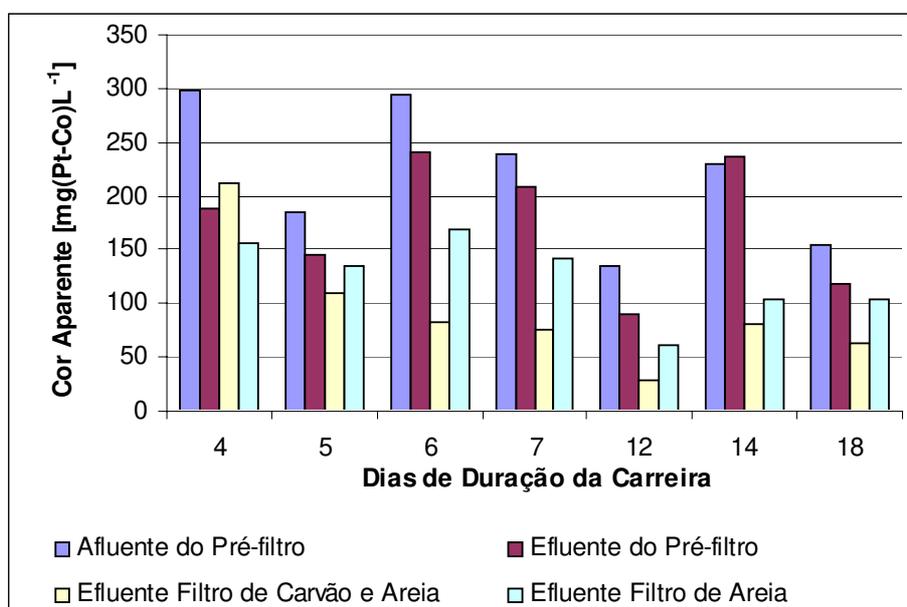


Figura 42. Valores de cor aparente das amostras coletadas no pré-filtro e filtros lentos no 5º ensaio.

Os valores de cor aparente obtidas no decorrer deste ensaio foram, em média, 175,6mg[Pt-Co]/L no pré-filtro, 93,0mg[Pt-Co]/L no filtro lento de carvão e areia e 124,3mg[Pt-Co]/L no filtro lento de areia.

A Tabela 37 mostra a eficiência média, máxima e mínima da remoção de cor aparente podendo-se observar que a eficiência do filtro de carvão e areia é maior que do filtro de areia, como também se observou nos ensaios 1 a 3.

Tabela 37. Valores médios, máximos e mínimos de Eficiência de Remoção de Cor Aparente no Pré-Filtro e Filtros Lentos no 5º Ensaio, em %.

	Média	Máxima	Mínima
Pré Filtro	24,0	36,6	12,6
Filtro de Carvão e Areia	56,0	68,9	25,3
Filtro de Areia	26,8	56,1	7,5

5.6.6. Demanda Química de Oxigênio

Os valores obtidos do afluente apresentaram média de 89,0mg/L, sendo reduzido gradativamente até o efluente dos filtros lentos que apresentaram valores médios de 45,0mg/L no filtro lento de carvão e areia e 67,6mg/L no filtro lento de areia (Tabela 38), indicando uma eficiência de 49,5% no conjunto pré-filtro seguido e filtro lento de carvão e areia e 25% no conjunto pré-filtro seguido e filtro lento de areia.

Tabela 38. Valores médios, máximos e mínimos de Demanda Química de Oxigênio no Pré-Filtro e Filtros Lentos no 5º Ensaio, em mg[O₂]/L.

	Média	Máxima	Mínima
Afluente do Pré-Filtro	89,0	132,8	61,8
Efluente do Pré Filtro	68,9	89,9	46,8
Efluente do Filtro de Carvão e Areia	45,0	57,0	29,3
Efluente do Filtro de Areia	67,6	74,3	56,8

5.6.7. Coliformes Totais e *E.Coli*

A presença coliformes totais no efluente tratado pelas wetlands e conseqüentemente no afluente ao Pré-Filtro foi, em média, da ordem 10^6 , e de *E.Coli*, de 10^5 , como mostra a Tabela 39.

Tabela 39. Valores médios, máximos e mínimos de concentração de coliformes totais e *E.Coli* no Pré-Filtro e Filtros Lentos no 5º Ensaio, em NMP/100mL.

	Coliformes Totais			<i>E.Coli</i>		
	Média	Máxima	Mínima	Média	Máxima	Mínima
Afl. ao Pré-Filtro	$1,4 \times 10^6$	$2,4 \times 10^6$	$7,0 \times 10^4$	$4,7 \times 10^5$	$2,0 \times 10^6$	$3,8 \times 10^4$
Efl. do Pré Filtro	$1,5 \times 10^6$	$2,4 \times 10^6$	$1,0 \times 10^5$	$5,4 \times 10^5$	$2,4 \times 10^6$	$3,4 \times 10^4$
Efl. do Filtro de Carvão e Areia	$1,1 \times 10^5$	$2,4 \times 10^5$	$1,1 \times 10^4$	$7,1 \times 10^4$	$2,3 \times 10^5$	$1,7 \times 10^3$
Efl. do Filtro de Areia	$2,5 \times 10^5$	$5,3 \times 10^5$	$1,1 \times 10^4$	$1,2 \times 10^5$	$2,4 \times 10^5$	$1,6 \times 10^3$

Os efluentes finais dos filtros lentos apresentaram, em media, concentrações da ordem de 10^5 para coliformes totais. Para *E.Coli* o filtro lento de carvão e areia apresentou em média concentrações da ordem 10^4 e no filtro lento de areia a concentração média foi da ordem 10^5 , representando no neste ensaios valores similares aos ensaios anteriores, e tendo a eficiência global mostrada na Tabela 40.

Tabela 40. Valores médios de Eficiência de Remoção de Coliformes Totais e *E.Coli* no Pré-Filtro e Filtros Lentos no 5º Ensaio, em %.

	Col. Totais	<i>E.Coli</i>
Pré Filtro + Filtro de Areia	81,6	74,4
Pré Filtro + Filtro de Areia e Carvão	92,2	84,8

5.6.8. Ferro Total

Os resultados das análises de ferro total tiveram os mesmos valores dos ensaios anteriores, onde houve aumento da concentração de ferro ao longo do processo de pré-filtração e filtração lenta.

Neste ensaio o valor máximo foi de $3,2\text{mgL}^{-1}$, obtido no efluente do filtro lento com carvão e areia, indicando um aumento em relação à média dos ensaios anteriores.

5.6.9. Parâmetros de Pequena Variação

5.6.9.1. Manganês

A concentração de manganês total esteve constante entre $0,05$ e $0,24\text{mgL}^{-1}$ ao longo de todo o ensaio, mantendo a tendência constante já observada nos ensaios anteriores.

5.6.9.2. pH

O pH das amostras do ensaio 5 oscilou entre 6,9 e 7,4 durante todo o período de amostragem, e do mesmo modo que foi observado nos ensaios anteriores, a pequena variação não representou alteração na composição química o efluente. (Figura 43).

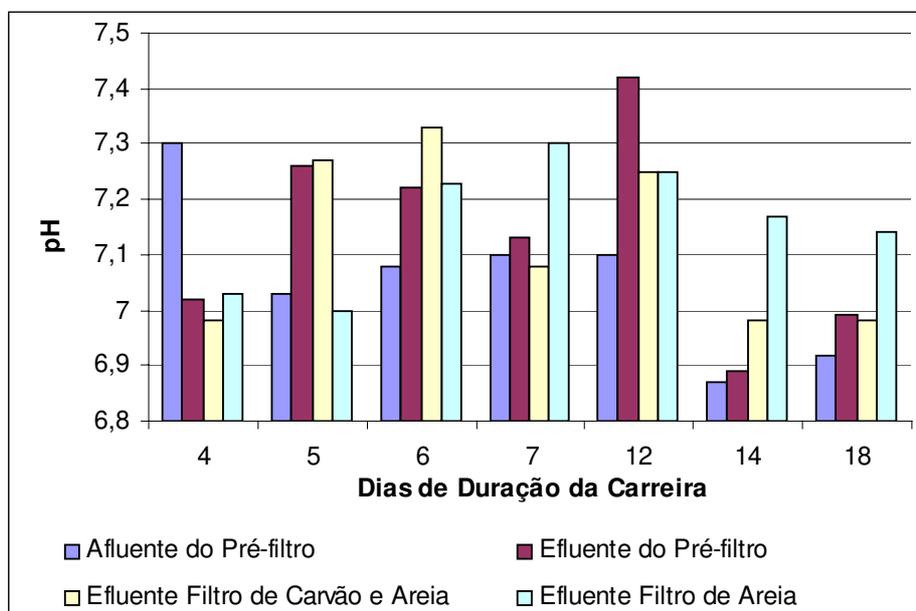


Figura 43. Valores de pH no 5º ensaio.

5.6.9.3. Temperatura

A temperatura oscilou entre 17,6°C e 23,0°C, mantendo o valor médio de 20°C, e assim como o pH não teve alteração devido às etapas do processo. (Figura 44)

Neste ensaio, assim como nos anteriores e como esperava-se pelas características climáticas da região, a temperatura média e os valores máximos e mínimos não atingiram valores limitantes do desenvolvimento da camada biológica dos filtros lentos (schmutzdecke) não havendo portanto alteração no processo devido a diferença de temperatura do efluente, do mesmo modo que foi relatado no ensaio anterior.

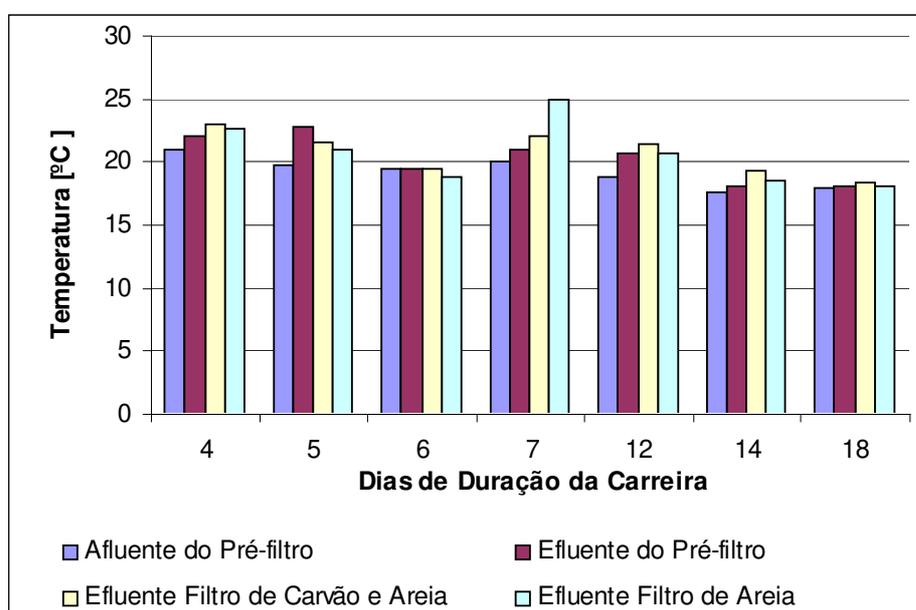


Figura 44. Valores de Temperatura no 5º ensaio.

5.6.9.4. Oxigênio Dissolvido

O Oxigênio Dissolvido manteve valores semelhantes aos ensaios anteriores, tendo valor médio em torno de 3 mgL⁻¹, apresentado poucos valores acima de 5 mgL⁻¹ ou próximos de 1 mgL⁻¹, como mostra a Tabela 41. Não foi identificada nenhuma anormalidade que pudesse ser responsável pela pequena variação deste parâmetro.

Tabela 41. Valores de Oxigênio Dissolvido no 5º Ensaio.

Amostra	Entrada do Pré-filtro	Saída do Pré-filtro	Saída Filtro de Carvão e Areia	Saída Filtro de Areia
4	1,81	4,61	4,21	1,92
5	1,18	2,52	2,38	1,47
6	1,83	2,55	1,94	1,16
7	3,31	5,77	5,7	4,36
12	1,7	3,55	1,86	1,61
14	2,03	1,18	1,81	1,47
18	2,95	5,76	6,37	5,49
Média	2,1	3,7	3,5	2,5
Máxima	3,31	5,77	6,37	5,49
Mínima	1,18	1,18	1,81	1,16

5.7. Ensaio 6

5.7.1. Taxa de Filtração

Neste ensaio a taxa média de pré-filtração foi de 8,3 m³/m²dia, de filtração lenta em carvão e areia 2,8 m³/m²dia e de filtração lenta em areia de 2,7 m³/m²dia. . Para efeito de comparação pode-se considerar que os dois filtros lentos operaram com a mesma taxa de filtração.

5.7.2. Perda de Carga

Este ensaio foi interrompido aos 18 dias de duração da carreira devido à obstrução da tubulação que leva o efluente à estação experimental. Nessa situação a perda de carga do filtro de carvão e areia era de 36cm e do filtro lento de areia é de 10cm. (Figura 45).

O ensaio não foi retomado devido à falta de tempo hábil para reparo na instalação.

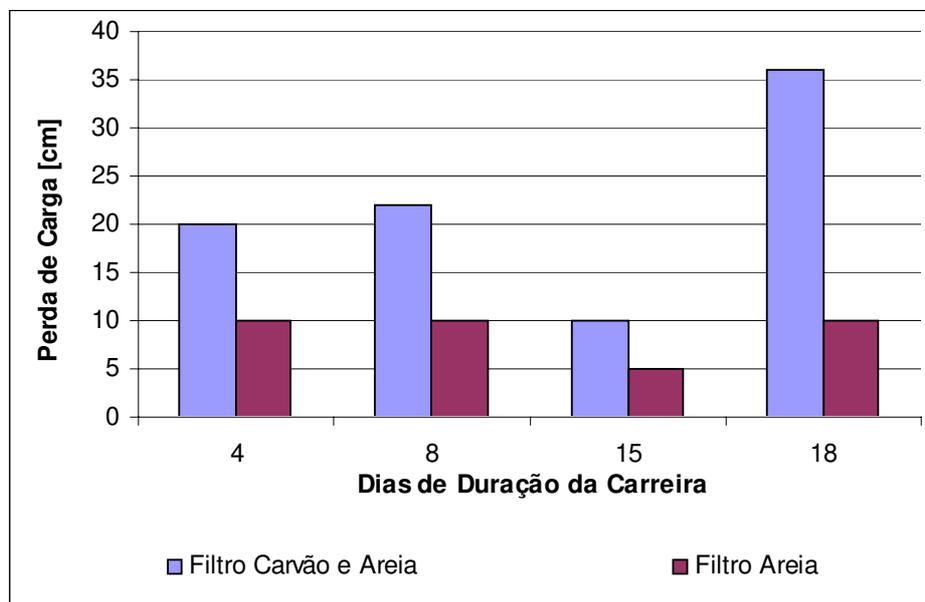


Figura 45. Evolução da perda de carga dos filtros lentos durante a carreira do 6º ensaio.

5.7.3. Sólidos em Suspensão

A eficiência de remoção de sólidos em suspensão deste ensaio comportou-se como nos ensaios anteriores (exceto o ensaio 5).

A concentração média do afluente foi de 15,4mg/L que é um valor muito baixo, porém o efluente a ser tratado possui concentrações menores que a afluente, como mostra a Tabela 42.

Tabela 42. Valores médios, máximos e mínimos de Concentração de Sólidos em Suspensão no Pré-Filtro e Filtros Lentos no 6ª Ensaio, em mg/L.

	Média	Máxima	Mínima
Afluente ao Pré-Filtro	15,4	25,0	6,7
Efluente do Pré-Filtro	10,4	20,0	5,0
Efluente do Filtro de Carvão e Areia	8,3	10,0	3,3
Efluente do Filtro de Areia	7,5	13,3	5,0

5.7.4. Turbidez

A remoção da turbidez ocorreu com significativa melhora ao longo do ensaio, principalmente no ensaio do dia 18 com considerável remoção de turbidez quando comparada com a entrada de afluente no pré-filtro e a saída dos filtros lentos, como mostra a Figura 46.

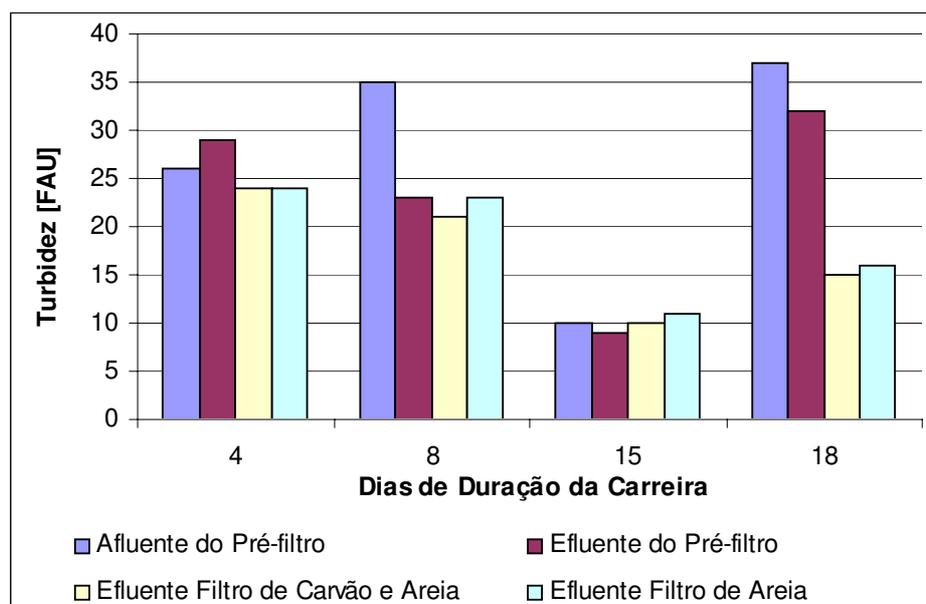


Figura 46. Valores de turbidez das amostras coletadas no pré-filtro e filtros lentos no 6º ensaio.

As eficiências médias de remoção de turbidez obtidas no decorrer deste ensaio foram de 13,7% no pré-filtro, 24,9% no filtro lento de carvão e areia e 20,6% no filtro lento de areia, como mostra a Tabela 43.

Tabela 43. Valores médios, máximos e mínimos de Turbidez no Pré-Filtro e Filtros Lentos no 6º Ensaio, em FAU.

	Média	Máxima	Mínima
Afluente do Pré-Filtro	27,0	37,0	10,0
Efluente do Pré Filtro	23,3	32,0	9,0
Efluente do Filtro de Carvão e Areia	17,5	24,0	10,0
Efluente do Filtro de Areia	18,5	24,0	11,0

5.7.5. Cor Aparente

A remoção da cor aparente, do mesmo modo que a remoção de turbidez, mostrou-se eficaz ao longo das unidades experimentais, principalmente pelos filtros lentos, como mostra a Figura 47.

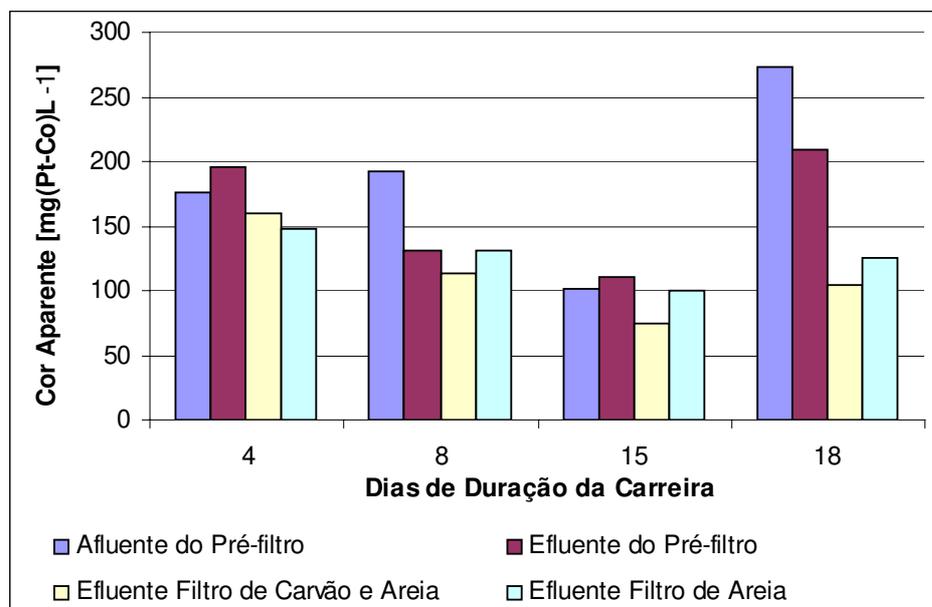


Figura 47. Valores de cor aparente das amostras coletadas no pré-filtro e filtros lentos no 6º ensaio.

Os valores de cor aparente obtidas no decorrer deste ensaio foram, em média, 161,5mg[Pt-Co]/L no pré-filtro, 113,0mg[Pt-Co]/L no filtro lento de carvão e areia e 126,3mg[Pt-Co]/L no filtro lento de areia.

A Tabela 44 mostra a eficiência média, máxima e mínima da remoção de cor aparente podendo-se observar que a eficiência do filtro de carvão e areia é maior que do filtro de areia, como já observado anteriormente.

Tabela 44. Valores médios, máximos e mínimos de Eficiência de Remoção de Cor Aparente no Pré-Filtro e Filtros Lentos no 6º Ensaio, em %.

	Média	Máxima	Mínima
Pré Filtro	27,6	31,8	23,4
Filtro de Carvão e Areia	28,6	49,8	13,7
Filtro de Areia	24,6	40,2	9,1

5.7.6. Demanda Química de Oxigênio

Os valores obtidos do afluente apresentaram média de 59,2 mg/L, sendo reduzido gradativamente até o efluente dos filtros lentos que apresentaram valores médios de 27,4 mg/L no filtro lento de carvão e areia e 42,5 mg/L no filtro lento de areia (Tabela 45), que são resultado semelhantes aos obtidos no ensaio 5, representando valores de eficiência de 53,7% no conjunto pré-filtro seguido e filtro lento de carvão e areia e 28,2% no conjunto pré-filtro seguido e filtro lento de areia.

Tabela 45. Valores médios, máximos e mínimos de Demanda Química de Oxigênio no Pré-Filtro e Filtros Lentos no 6º Ensaio, em mg[O₂]/L.

	Média	Máxima	Mínima
Afluente do Pré-Filtro	59,2	62,3	56,8
Efluente do Pré Filtro	37,5	43,5	24,3
Efluente do Filtro de Carvão e Areia	27,4	28,8	26,8
Efluente do Filtro de Areia	42,5	61,8	34,3

5.7.7. Coliformes Totais e *E.Coli*

A presença coliformes totais no efluente tratado pelas wetlands e conseqüentemente no afluente ao Pré-Filtro foi, em média, da ordem 10⁶, e de *E.Coli*, de 10⁴, como mostra a Tabela 46.

Tabela 46. Valores médios, máximos e mínimos de concentração de coliformes totais e *E.Coli* no Pré-Filtro e Filtros Lentos no 6º Ensaio, em NMP/100mL.

	Coliformes Totais			<i>E.Coli</i>		
	Média	Máxima	Mínima	Média	Máxima	Mínima
Afl. ao Pré-Filtro	1,8 x 10 ⁶	2,4 x 10 ⁶	6,9 x 10 ⁵	8,8 x 10 ⁴	1,3 x 10 ⁵	2,4 x 10 ⁴
Efl. do Pré Filtro	1,7 x 10 ⁶	2,4 x 10 ⁶	4,3 x 10 ⁵	1,2 x 10 ⁵	2,6 x 10 ⁶	1,0 x 10 ⁰
Efl. do Filtro de Carvão e Areia	8,6 x 10 ⁵	2,4 x 10 ⁶	1,2 x 10 ⁴	7,0 x 10 ⁴	1,4 x 10 ⁵	1,1 x 10 ⁴
Efl. do Filtro de Areia	9,0 x 10 ⁵	2,4 x 10 ⁶	6,2 x 10 ⁴	5,0 x 10 ⁴	1,3 x 10 ⁵	7,7 x 10 ³

Os efluentes finais dos filtros lentos apresentaram, em media, concentrações da ordem de 10^5 para coliformes totais.e 10^4 para *E.Coli.*, não sendo a eficiência de remoção de *E.Coli* significativa neste ensaio como mostrado na Tabela 47.

Tabela 47. Valores Médios de Eficiência de Remoção de Coliformes Totais e *E.Coli* no Pré-Filtro e Filtros Lentos no 6º Ensaio, em %.

	Col. Totais	<i>E.Coli</i>
Pré Filtro + Filtro de Areia	50,7	43,3
Pré Filtro + Filtro de Areia e Carvão	52,9	20,5

5.7.8. Ferro Total

Os resultados das análises de ferro total tiveram os mesmos valores dos ensaios anteriores, onde houve aumento da concentração de ferro ao longo do processo de pré-filtração e filtração lenta. Neste ensaio o valor máximo foi de $2,5\text{mgL}^{-1}$.

5.7.9. Parâmetros de Pequena Variação

5.7.9.1. Manganês

A concentração de manganês total esteve constante entre $0,05$ e $0,25\text{mgL}^{-1}$ ao longo de todo o ensaio, mantendo a tendência constante já observada nos ensaios anteriores.

5.7.9.2. pH

O pH das amostras do ensaio 6 oscilou entre $7,0$ e $7,5$ durante todo o período de amostragem, e do mesmo modo que foi observado nos ensaios anteriores, a pequena variação não representou alteração na composição química o efluente. (Figura 48).

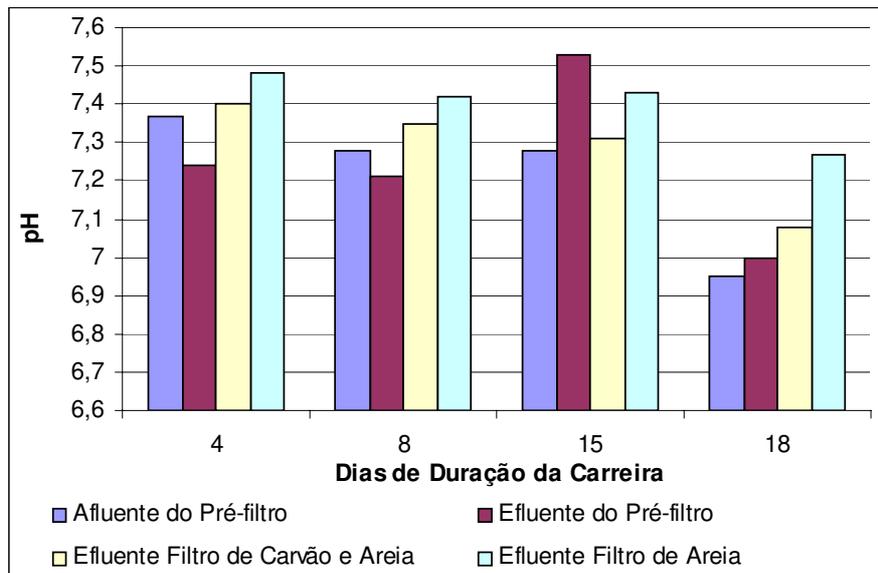


Figura 48. Valores de pH no 6º ensaio.

5.7.9.3. Temperatura

A temperatura oscilou entre 20,6°C e 27,8°C, mantendo o valor médio de 22°C, e assim como o pH não teve alteração devido às etapas do processo. (Figura 49).

Neste ensaio a temperatura teve o mesmo comportamento que nos ensaios anteriores.

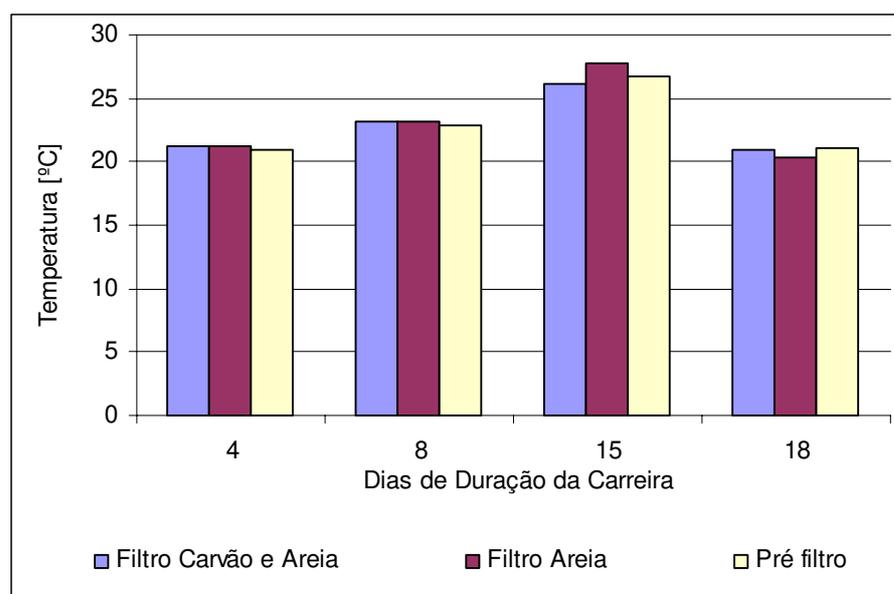


Figura 49. Valores de Temperatura no 6º ensaio.

5.7.9.4. Oxigênio Dissolvido

O Oxigênio Dissolvido manteve valores semelhantes aos ensaios anteriores, tendo um valor médio em torno de 3 mgL^{-1} , apresentado poucos valores acima de 5 mgL^{-1} ou abaixo de 1 mgL^{-1} , como mostra a Tabela 48. Não foi identificada nenhuma anormalidade que pudesse ser responsável pela pequena variação deste parâmetro.

Tabela 48. Valores de Oxigênio Dissolvido no 6º Ensaio, em mg/L.

Amostra	Entrada do Pré-filtro	Saída do Pré-filtro	Saída Filtro de Carvão e Areia	Saída Filtro de Areia
4	1,57	0,79	1,11	1,58
8	3,33	5,13	4,84	3,87
15	4,71	5,48	5,35	5,16
18	3,4	5,96	4,19	4,91
Média	3,3	4,3	3,9	3,9
Máxima	4,7	6,0	5,4	5,2
Mínima	1,6	0,8	1,1	1,6

5.8. Discussão

Os ensaios 1 a 6 mostraram que a pré-filtração e filtração lenta tiveram comportamento semelhante nos diferentes ensaios com pode-se observar nos resultados anteriormente apresentados.

5.8.1. Taxa de Filtração

A taxa de filtração manteve-se constante nos ensaios, como mostra a Tabela 49, demonstrando que os dosadores utilizados possuem estabilidade suficiente para utilização em sistemas com pequenas vazões, desde que sejam realizadas verificações das condições de trabalho destes pois existe o risco de obstrução do orifício presente no tubo dosador.

Tabela 49. Taxa de Filtração Média dos Ensaio e Média Geral.

Ensaio	Taxa de Filtração [m ³ /m ² dia]		
	Pré-filtro de Pedregulho	Filtro Lento de Carvão e Areia	Filtro Lento de Areia
1	7,8	2,8	2,9
2	8,9	2,7	2,7
3	8,8	2,5	2,6
4	8,4	2,8	2,8
5	8,5	2,7	2,6
6	8,3	2,8	2,7
Média	8,4	2,7	2,7

5.8.2. Perda de Carga

A perda de carga dos ensaios teve um valor inicial baixo, próximo à 10cm, indicando que a influência do meio filtrante é pequena quando comparada com a perda de carga causada pelo desenvolvimento do “schmutzdecke”.

Os valores médios dos coeficientes das curvas de regressão de cada ensaios resultam nas equações 11 e 12.

$$\Delta H_{Areia} = 6,2543e^{0,0565d} \quad \text{EQUAÇÃO 11}$$

$$\Delta H_{Areia_Carvão} = 7,1148e^{0,0,591d} \quad \text{EQUAÇÃO 12}$$

onde: ΔH = perda de carga, em cm

d = tempo de duração da carreira, em dias

Substituindo valores nas EQUAÇÕES 11 e 12 teremos no filtro lento de carvão e areia o valor inicial de 7,1148cm e perda de carga de 70 cm aos 39 dias de duração da carreira, no filtro de areia o valor inicial de 6,2543 cm e perda de carga de 70 cm aos 43 dias de duração da carreira.

5.8.3. Sólidos em Suspensão

A concentração de sólidos em suspensão manteve baixa no afluente, pois as wetlands conferiram boa qualidade ao efluente tratado por estas, sendo a concentração média no afluente do pré-filtro de 13,4mg/L.

Mesmo sendo baixa a concentração de sólidos suspensos no afluente, as unidades de pré-filtração e filtração lenta nem sempre reduziram essas concentrações, como mostra a Tabela 50, sendo a eficiência média do pré-filtro de 22,5%, do filtro lento de carvão e areia de 36,2% e do filtro lento de areia de 28,2%.

Tabela 50. Concentrações Médias de Sólidos em Suspensão dos Ensaio e Média Geral.

Ensaio	Concentração de Sólidos em Suspensão [mg/L]			
	Afluente do Pré-filtro de Pedregulho	Efluente do Pré-filtro de Pedregulho	Efluente do Filtro Lento de Carvão e Areia	Efluente do Filtro Lento de Areia
1	21,7	15,0	15,0	11,7
2	8,8	6,9	8,1	9,4
3	10,0	10,0	3,8	6,3
4	13,3	10,0	5,8	7,5
5	11,2	10,9	8,6	12,9
6	15,4	10,4	8,3	7,5
Média	13,4	10,5	8,3	9,2

5.8.4. Turbidez

A remoção da turbidez pelas unidades experimentais mostrou-se eficiente nos ensaios realizados.

O afluente teve turbidez média de 32,1 FAU sendo está reduzida para 14,5 FAU no efluente do filtro lento de carvão e areia e 17,1 FAU no efluente do filtro lento de

areia, como mostra a Tabela 51, que são valores baixos principalmente se tratando de efluente tratado.

Tabela 51. Turbidez Média dos Ensaios e Média Geral.

Ensaio	Turbidez [FAU]			
	Afluente do Pré-filtro de Pedregulho	Efluente do Pré-filtro de Pedregulho	Efluente do Filtro Lento de Carvão e Areia	Efluente do Filtro Lento de Areia
1	32,3	23,8	16,3	18,9
2	34,1	26,7	13,8	16,5
3	37,4	25,1	10,9	12,8
4	32,3	26,2	15,5	18,7
5	29,4	30,1	12,9	17,4
6	27,0	23,3	17,5	18,5
Média	32,1	25,9	14,5	17,1

As eficiências médias de remoção de turbidez obtidas neste experimento foram de 22,8% no pré-filtro, 43,2% no filtro lento de carvão e areia e 33,2% no filtro lento de areia.

5.8.5. Cor Aparente

A remoção da cor aparente, do mesmo modo que a remoção de turbidez, mostrou-se eficaz ao longo de todos os ensaios sendo ainda os valores médios do filtro lento com carvão e areia sempre menor que o filtro lento de areia e por conseqüência a eficiência deste superior ao filtro lento cujo meio filtrante composto apenas por areia, como mostra a Tabela 52.

Tabela 52. Cor Aparente Média dos Ensaios e Média Geral.

Cor Aparente [mg(Pt-Co)/L]				
Ensaio	Afluente do Pré-filtro de Pedregulho	Efluente do Pré-filtro de Pedregulho	Efluente do Filtro Lento de Carvão e Areia	Efluente do Filtro Lento de Areia
1	200,6	155,8	111,4	129,6
2	183,4	169,0	98,6	136,1
3	239,1	192,2	109,7	125,0
4	232,6	207,8	118,8	144,1
5	218,9	175,6	93,0	124,3
6	185,5	161,5	113,0	126,3
Média	210,0	177,0	107,4	130,9

Os valores de cor aparente foram, em média, 177,0 mg[Pt-Co]/L no pré-filtro, 107,4mg[Pt-Co]/L no filtro lento de carvão e areia e 130,9 mg[Pt-Co]/L no filtro lento de areia. Assim, a eficiência média da remoção de cor foi de 15,7% para o pré-filtro, 39,3% para o filtro lento com camada de carvão e 26% para o filtro lento de areia.

A Figura 50 mostra que não houve nenhuma tendência de redução da eficiência do carvão ativado, que não foi substituído, mesmo depois de 6 ensaios realizados.

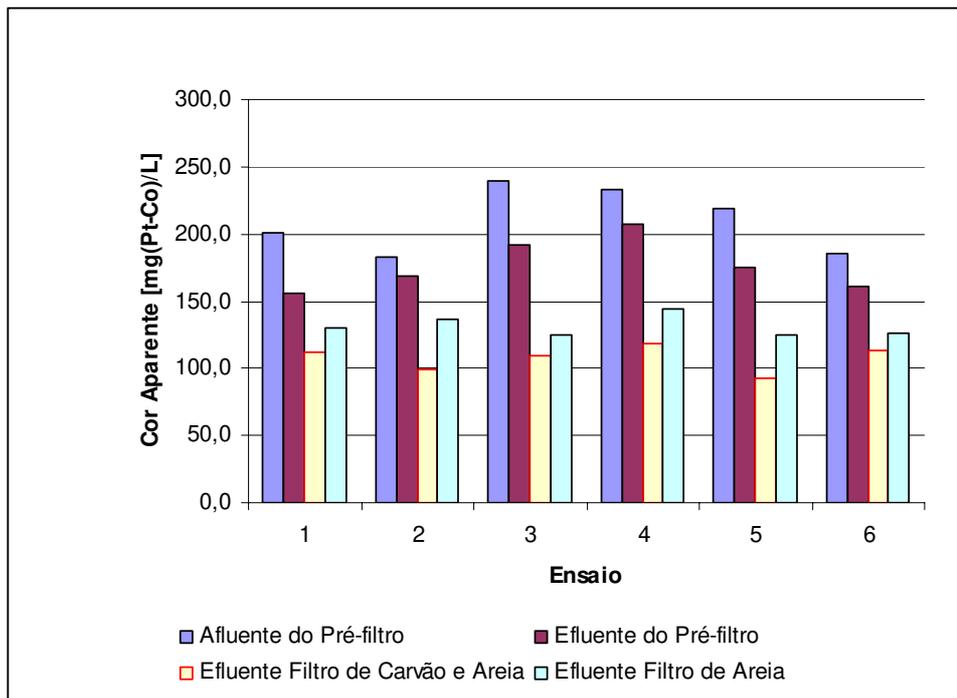


Figura 50. Valores Médios de Cor Aparente.

5.8.6. Demanda Química de Oxigênio

A redução da Demanda Química de Oxigênio (DQO) mostrou-se eficaz durante todo o ensaio e, percebeu-se que a eficiência foi maior nas carreiras de filtração 2 e 3. Observou-se também que o filtro lento de carvão e areia obteve eficiência maior que o filtro lento de areia em todos os ensaios. A Tabela 53 mostra a eficiência média dos ensaios 1 a 6.

Tabela 53. Demanda Química de Oxigênio (DQO) Médias dos Ensaios e Média Geral.

Ensaio	DQO mg(O ₂)/L			
	Afluyente do Pré-filtro de Pedregulho	Efluente do Pré-filtro de Pedregulho	Efluente do Filtro Lento de Carvão e Areia	Efluente do Filtro Lento de Areia
1	7,3	34,6	26,1	7,3
2	19,3	33,2	22,1	19,3
3	50,8	49,8	40,1	50,8
4	50,6	28,3	22,7	50,6
5	30,1	32,3	22,5	30,1
6	36,9	34,2	13,9	36,9
Média	32,5	35,4	24,6	32,5

5.8.7. Coliformes Totais e *E.Coli*

A presença coliformes totais no efluente tratado pelas wetlands e conseqüentemente no afluente ao Pré-Filtro foi, em média, da ordem 10^6 , e de *E.Coli*, de 10^5 , como na maioria dos ensaio, sendo os valores médios mostrados nas Tabela 54 e 55.

Tabela 54. Concentração de Coliformes Totais Médias dos Ensaio e Média Geral.

Concentração de Coliformes Totais [NMP/100ml]				
Ensaio	Afluente do Pré-filtro de Pedregulho	Efluente do Pré-filtro de Pedregulho	Efluente do Filtro Lento de Carvão e Areia	Efluente do Filtro Lento de Areia
1	1,4E+06	4,0E+05	9,0E+04	1,3E+05
2	1,8E+06	1,8E+06	6,5E+05	5,9E+05
3	3,2E+05	2,4E+05	5,7E+04	1,1E+05
4	1,0E+06	6,3E+05	8,4E+04	4,7E+05
5	1,4E+06	1,5E+06	1,1E+05	2,5E+05
6	1,8E+06	1,7E+06	8,6E+05	9,0E+05
Média	1,29E+06	1,06E+06	3,09E+05	4,09E+05

Tabela 55. Concentração de *E.Coli* Médias dos Ensaio e Média Geral.

Concentração de <i>E.Coli</i> [NMP/100ml]				
Ensaio	Afluente do Pré-filtro de Pedregulho	Efluente do Pré-filtro de Pedregulho	Efluente do Filtro Lento de Carvão e Areia	Efluente do Filtro Lento de Areia
1	4,2E+05	1,4E+05	3,1E+04	2,9E+04
2	5,8E+05	1,3E+06	3,1E+05	3,4E+05
3	1,2E+05	9,2E+04	1,4E+04	2,4E+04
4	1,7E+05	1,8E+05	5,3E+04	6,8E+04
5	4,7E+05	5,4E+05	7,1E+04	1,2E+05
6	8,8E+04	1,2E+05	7,0E+04	5,0E+04
Média	3,08E+05	3,92E+05	9,13E+04	1,04E+05

O pré-filtro de pedregulho não apresentou redução efetiva coliformes, seja totais e *E.Coli*, e a eficiência dos filtros lentos mantiveram-se próximas à 70%, (Tabelas 56 e 57), não levaram o efluente tratado a condição de estéril, reduzindo a concentração bacteriológica neste mas sendo esta ainda em média da ordem de 10^5 , necessitando deste modo de uma unidade de desinfecção posterior.

O filtro lento de carvão e areia mostrou uma eficiência maior que o filtro lento de areia na redução de coliformes totais e *E.coli*.

Tabela 56. Eficiência Média de Remoção de Coliformes Totais dos Ensaio e Média Geral.

Eficiência de Remoção de Concentração de Coliformes Totais [%]			
Ensaio	Pré-filtro de Pedregulho	Filtro Lento de Carvão e Areia	Filtro Lento de Areia
1	71,9	77,2	65,9
2	Não Houve	63,9	67,2
3	24,6	76,2	55,4
4	38,0	86,7	25,2
5	Não Houve	92,9	83,4
6	4,7	50,6	48,3
Média	34,8	74,6	57,6

Tabela 57. Eficiência Média de Remoção de *E.Coli* dos Ensaio e Média Geral.

Eficiência de Remoção de Concentração de E.Coli [%]			
Ensaio	Pré-filtro de Pedregulho	Filtro Lento de Carvão e Areia	Filtro Lento de Areia
1	68,0	76,9	78,7
2	Não Houve	76,0	73,7
3	25,3	84,5	73,9
4	Não Houve	70,3	61,8
5	Não Houve	86,9	78,4
6	Não Houve	41,3	58,2
Média	46,7	72,7	70,8

5.8.8. Ferro Total

Os resultados das análises de ferro total tiveram um acréscimo no decorrer das unidades de filtração, A Tabela 58 mostra os valores obtidos onde nota-se que estes não atingiram patamares elevados.

Tabela 58. Média das Concentração de Ferro Total dos Ensaio e Média Geral.

Ensaio	Concentração de Ferro Total [mg/L]			
	Afluente do Pré-filtro de Pedregulho	Efluente do Pré-filtro de Pedregulho	Efluente do Filtro Lento de Carvão e Areia	Efluente do Filtro Lento de Areia
1	0,64	0,55	1,19	1,52
2	1,40	1,61	1,52	1,87
3	0,54	0,60	2,39	1,08
4	0,53	0,81	1,63	1,55
5	0,60	1,01	1,54	1,90
6	0,47	1,35	1,59	1,70
Média	0,69	0,99	1,64	1,60

Este aumento deveu-se provavelmente em função da oxidação das grades de aço que suportavam os meios filtrantes do pré-filtro, do filtro lento de carvão e areia e do filtro lento de areia.

5.8.9. Parâmetros de Pequena Variação

5.8.9.1. Manganês

A concentração de manganês total esteve constante durante os ensaios e entre os ensaios como mostra a Figura 51, onde se pode observar que não houve variação na concentração de manganês do afluente, nem qualquer influência do tratamento realizados no efluente.

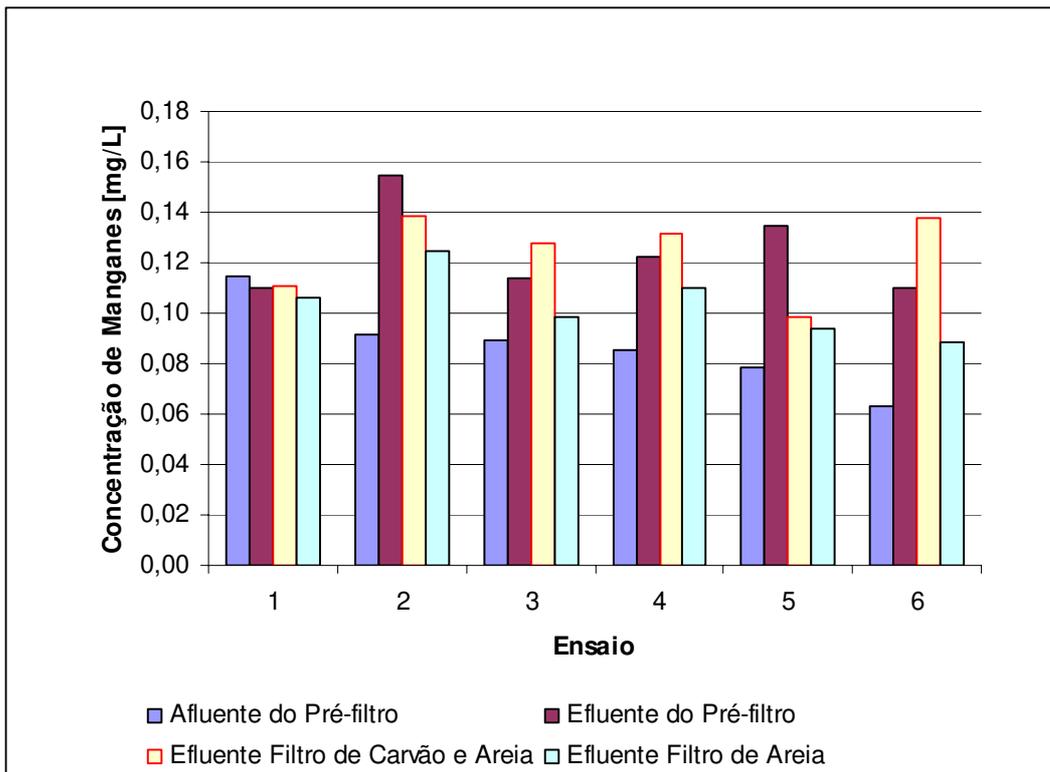


Figura 51. Valores Médios de Concentração de Manganês.

5.8.9.2. pH

O pH do efluente ao longo dos ensaios não apresentou variação significativa com comentados nos itens referentes a cada ensaio.

5.8.9.3. Temperatura

As médias de temperatura oscilaram entre 19,2°C e 28,5°C, sendo estes valores resultantes de ensaios realizados em períodos tanto de verão com de inverno, não havendo, portanto, limitação para desenvolvimento do “schmutzdecke” por temperaturas excessivamente altas ou baixas.

A Tabela 59 mostra os valores médios de cada ensaio e a média geral.

Tabela 59. Temperatura Média dos Ensaio e Média Geral.

Ensaio	Período	Temperatura [°C]			
		Afluente do Pré-filtro de Pedregulho	Efluente do Pré-filtro de Pedregulho	Efluente do Filtro Lento de Carvão e Areia	Efluente do Filtro Lento de Areia
1	Outubro /04	22,2	22,9	23,2	23,0
2	Fev – Mar /05	27,2	28,5	28,3	27,8
3	Abr – Mai /05	25,3	26,8	26,6	26,6
4	Mai – Jun /05	22,9	24,0	23,0	22,9
5	Julho / 05	19,2	20,3	20,7	20,7
6	Agosto / 05	21,5	22,9	22,9	23,2
Média		23,1	24,2	24,1	24,0

5.8.9.4. Oxigênio Dissolvido

O oxigênio dissolvido, assim como a concentração de manganês, não foi alterada ao longo das unidades pré-filtração e filtração lenta, nem entre os ensaios realizados, a Tabela 60, mostra que a concentração de oxigênio dissolvido manteve em torno de 3,0mg/L durante todo o período.

Tabela 60. Concentração de Oxigênio Dissolvido Média dos Ensaio e Média Geral.

Ensaio	Concentração de Oxigênio Dissolvido [mg/L]			
	Afluente do Pré-filtro de Pedregulho	Efluente do Pré-filtro de Pedregulho	Efluente do Filtro Lento de Carvão e Areia	Efluente do Filtro Lento de Areia
1	3,4	2,7	2,6	2,6
2	3,3	3,8	3,4	2,9
3	2,7	3,4	2,7	2,1
4	2,6	3,1	2,6	2,2
5	2,1	3,7	3,5	2,5
6	3,3	4,3	3,9	3,9
Média	2,9	3,5	3,1	2,7

5.9. Comparação dos resultados com os padrões descritos por NAKAYAMA e BUCKS (1986) para água de irrigação e risco de entupimento de gotejadores.

5.9.1. Sólidos em suspensão

Obteve-se um valor médio dos ensaios de 8,3 mg/L para o filtro lento de carvão e areia com manta e 9,2 mg/L para o filtro lento de areia e manta. Comparando-se estes resultados com a Tabela 2 observa-se que os valores obtidos atendem aos requisitos determinados por NAKAYAMA e BUCKS (1986), onde para um risco considerado baixo de entupimento a concentração de sólidos suspensos deve ser inferior a 50 mg/L.

5.9.2. pH

Os valores de pH obtidos ao longo das 6 carreiras de filtração ficaram entre um mínimo de 5,9 e um máximo de 7,8 para o filtro lento de areia e manta e variou de 6,6 a 7,7 para o filtro lento de carvão, areia e manta. Comparando estes valores à Tabela 2, observa-se que a qualidade do efluente obtido em ambos os filtros se enquadra na faixa de risco moderado de entupimento de gotejadores.

5.9.3. Ferro

Para os valores de ferro, o filtro lento de areia e manta obteve um valor médio ao longo das carreiras de 1,60 mg/L e o filtro lento de carvão, areia e manta obteve um valor médio de 1,64 mg/L. Segundo NAKAYAMA e BUCKS (1986) estes valores enquadram os filtros na categoria de risco severo de entupimento onde o valor de referência é de 1,5 mg/L.

5.9.4. Manganês

Em ambos os filtros avaliados os valores de manganês aumentaram provavelmente devido à contaminação pela areia utilizada, porém permanecendo ao redor de 0,14 mg/L, o que enquadra os filtros na categoria de médio risco de entupimento para este parâmetro, segundo NAKAYAMA e BUCKS (1986).

5.9.5. População bacteriana

Para este parâmetro consideraram-se os valores obtidos nas análises de coliformes fecais e totais. Assim, para o filtro lento de areia e manta obteve-se aproximadamente 4000 NMP/mL para coliformes totais e aproximadamente 1000 NMP/mL, o que enquadra o filtro lento de areia e manta na categoria de baixo risco de entupimento de gotejadores. Para o filtro lento de carvão, areia e manta foram obtidos resultados médios de 3000 NMP/mL para coliformes totais e aproximadamente 900 NMP/mL para coliformes fecais, o que também enquadra este filtro na categoria de baixo risco de entupimento de gotejadores, segundo NAKAYAMA e BUCKS (1986).

Portanto, apesar de no parâmetro concentração de ferro onde se obteve classificação de risco alto de entupimento de gotejadores, de maneira geral pode-se considerar que ambos os filtros se adequam ao tratamento de água para irrigação sem causar entupimento aos gotejadores.

5.10. Comparação dos resultados com a Resolução CONAMA 357/2005.

Para serem lançados os efluentes a um corpo receptor, a qualidade deste deve atender à resolução 357/2005 no que se refere às Condições de Lançamento a qual se encontra no capítulo IV que define condições e padrões de lançamento adotado para o controle de lançamento de efluentes no corpo receptor.

Os valores de oxigênio dissolvido (OD) não apresentaram variação significativa do afluente ao sistema para o efluente, apresentando valores médios de 3,0 mgO₂/L. Assim considera-se que para atender ao padrões de lançamento, seja necessário um processo posterior de aeração.

Com relação aos parâmetros analisados neste trabalho, podemos verificar que houve uma redução dos coliformes fecais de 74,6% no filtro lento de carvão, areia e manta e 57,6% no filtro lento de areia e manta. Mas como a concentração deste parâmetro era bastante elevado e, embora a eficiência do tratamento fosse consideravelmente boa, o efluente tanto do filtro lento de carvão, areia e manta e do

filtro lento de areia e manta, necessitam de um processo complementar de tratamento para desinfecção do efluente para atender aos padrões de lançamento, conforme a Resolução CONAMA 357/2005.

Com relação aos parâmetros cor e turbidez, houve remoção considerável destes parâmetros, embora o afluente ao sistema não apresentasse valores acima dos padrões requeridos para lançamento em corpos d'água classificados como Classe I pela resolução CONAMA 357/2005.

5.11. Influência do uso de carvão ativado granulado num filtro lento de areia e manta.

O uso de uma camada intermediária de carvão ativado granulado em um filtro lento de areia e manta mostrou-se em alguns dos parâmetros analisados uma eficiência maior quando comparado a um filtro lento de areia e manta.

Com relação à cor houve uma eficiência de remoção de cor foi de 39,3% para o filtro lento de carvão, areia e manta contra 26,0% de eficiência de remoção de cor para o filtro lento de areia e manta.

Quanto ao parâmetro turbidez, o filtro lento de carvão, areia e manta mostrou maior eficiência que o filtro lento de areia manta (43,2% para o filtro lento de carvão, areia e manta contra 33,2% para o filtro lento de areia e manta).

O parâmetro Demanda Química de Oxigênio (DQO) mostrou também que o filtro lento de carvão, areia e manta obteve uma eficiência maior, obtendo uma média de 24,6 mgO₂/L contra uma média de 32,5 mgO₂/L para o filtro lento de areia e manta.

O filtro lento de carvão, areia e manta também mostrou eficiência maior na redução de coliformes fecais e totais, quando comparado ao filtro lento de areia e manta, porém vale ressaltar que para determinados usos deve-se aplicar a desinfecção.

Na avaliação do parâmetro ferro, houve um aumento na concentração deste, que provavelmente foi causado pelo tipo de areia usado nos filtros e também pela oxidação das grades de suporte do meio filtrante dos filtros lentos e do pré-filtro. Assim, sugere-se que pra a construção destes sistemas as grades e outros componentes dos filtros

não utilizem aço carbono, já que mesmo utilizando-se um fundo anti-corrosivo e posterior pintura das grades, isso não conseguiu evitar sua corrosão.

Não houve redução significativa no parâmetro manganês, permanecendo constante durante todos os ensaios.

No parâmetro Oxigênio Dissolvido também não houve variação durante os ensaios, permanecendo praticamente constante e igual, tanto para o filtro lento de carvão, areia e manta, como para o filtro lento de areia e manta.

O pH também não apresentou grandes variações ao longo dos ensaios, permanecendo praticamente igual tanto para o filtro lento de carvão, areia e manta, como para o filtro lento de areia e manta.

6. CONCLUSÃO

Tanto o filtro lento de areia e manta quanto o filtro lento de areia, carvão e manta mostraram-se eficientes para aplicação em tratamento de água para irrigação e redução do risco de entupimento de gotejadores.

As concentrações de ferro e manganês no afluente do sistema mostraram-se baixas, havendo, entretanto, um aumento da concentração no efluente do sistema, devido, provavelmente à composição da areia utilizada nos filtros e à oxidação das grades que formavam o suporte do meio filtrante do pré-filtro, do filtro lento com camada de areia e do filtro lento com camada de areia e carvão.

O sistema pré-filtro associado ao filtro lento de carvão ativado e areia mostrou maior eficiência na redução de cor, turbidez, e coliformes que o sistema composto do pré-filtro e filtro lento de areia, mesmo após oito carreiras de filtração utilizando-se o mesmo carvão ativado.

Embora a redução de coliformes totais e *E. coli* tenha sido da ordem de 70% em média, as concentrações de microrganismos ainda se mantiveram altas, indicando potencial contaminante. Assim, se o efluente do sistema for utilizado para irrigação de culturas que não sejam consumidas em natura ou para fins ornamentais, não haverá problemas. Porém se esta água for aplicada em irrigação de hortaliças, por exemplo, haverá a necessidade de se utilizar um processo de desinfecção a fim de prevenir riscos de contaminação.

Embora o funcionamento dos filtros lentos não tenha sido contínuo, parando nos finais de semana e à noite por falta de efluente, a eficiência do sistema não foi afetada porque o nível de água no interior dos filtros permanecia sempre acima do meio filtrante, não deixando o schmutzdeck secar, o que seria prejudicial à eficiência dos filtros.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - APHA- Standard methods for the water and wastewater..20. ed. New York: APHA, 1995 p. 4-63 / 4-87/ 2-3/ 2-9/ 9-37/ 9-53/ 9-54.
- ANGELAKIS, A. N. Status of wastewater reuse practice in the Mediterranean basin: need for guidelines . Water Research,. Elsevier Science Ltd. v.33, n.10, Great Britain: 1999, p.2201-2217.
- AZEVEDO NETTO, J.M. & HESPANHOL, I. Técnicas de Abastecimento e Tratamento de Água. Cap. 23: Filtração Lenta, São Paulo: CETESB, 20 ed., vol 2, p.869-882., 1979.
- BANCO MUNDIAL. Reassentamento e Desenvolvimento (Resettlement and Development), Departamento do Meio Ambiente do Banco Mundial, 1994.
- BAUER, M.J.; COLBOURNE, J.S.; FOSTER, D.M.; GOODMAN, N.V.; RACHWAL, A.J. 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.223-23, 1996.
- BLANKEN, J.G. Microbial Activity in Activated Carbon Filters, Microbial Activity, p.405-425, 1982.
- BOHRER, M. B. C. “Utilização de testes de toxicidade com organismos aquáticos em programa de biomonitoramento”. I Workshop Sobre Qualidade de Água na Aqüicultura. Pirassununga, São Paulo, p. 69-72, 2000.
- CENTRO DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA E DA SAÚDE DO ESTADO DE SÃO PAULO. Portaria nº 21 de 19 de dezembro de 1991.
- DECAMP,O.; WARREN, A.; Investigation of Escherichia coli removal in various designs of subsurface flow wetlands used for wastewater treatment. Ecological Engineering 14: (1-2), pg. 9-15, 2000.

- DI BERNARDO, L.; ROCHA, O. Remoção de Algas em Pré-filtro de Fluxo Ascendente com meio Granular de Pedregulhos e Areia Grossa. IV SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. Belo Horizonte, Brasil. 1990c.
- DI BERNARDO, L.; GRAHAN, J. D.; PATERNIANI, J. E. S. Fabric-Protected Shallow Depth Slow Sand Filters – Preliminary Pilot – Plant Investigations. in: Workshop. Durhan, oct. 1991b.
- DI BERNARDO, L. Métodos e Técnicas de Tratamento de Água, vols. 1 e 2. ABES, Rio de Janeiro. 1993.
- DI BERNARDO, L., BRANDÃO, C.C.S., HELLER, L. Tratamento de águas de Abastecimento por Filtração em Múltiplas Etapas. ABES/ PROSAB. Rio de Janeiro. 114p., 1999.
- DI BERNARDO, L. - Tratamento de águas de Abastecimento por Filtração em Múltiplas Etapas. ABES/ PROSAB. Rio de Janeiro. 1999.
- DUSSERT, B.W. E VAN STONE, G.R., The Biological Activated Carbon Process for Water Purification, Water, Engineering & Management, 1994.
- DUSSERT, B.W. E TRAMPOSCH, W.G. Impact of Support Media and Properties on the Biological Treatment of drinking Water. In: In: GRAHAM, N., COLLINS, R. eds. Advances in Slow Sand and Alternatives Biological Filtration. 1. Ed. England: John Wiley & Sons, p.168-176, 1996.
- ECKENFELDER, W.W.; WILLIAMS, Jr. T.; SCHLOSSNAGLE, G. Applications of New Concepts of Physical-Chemical Wastewater Treatment, p.159-166, 1972.
- EDZWALD, J. K., BECKER, W. C., WATTIER, K. L. Surrogate Parameters for Monitoring Organic Matter and THM Precursors, Journal American Water Works, april, p.122-132. 1985.

FERRAZ, F.C., PATERNIANI, J.E.S., Redução da Espessura da Camada Suporte através da Substituição por Mantas Sintéticas Não Tecidas na Filtração Lenta de Água de Abastecimento Revista Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES, Vol 7, nº 6 e 7, pg 8 – 15, Jan/Jun 2002.D.

FRIEDLER, E. Jeezrael Valley project for wastewater reclamation and reuse, Israel. Water Science and Technology . v.40, n.4, England: Elsevier Science Ltd., p347-354.1999.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE; Portaria nº 518; Padrão de Potabilidade de Água para Consumo Humano – Ministério da Saúde, 2004.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE, Ministério da Saúde; Portaria nº 357 de 17 de MARÇO, Classificação de corpos d'água e diretrizes ambientais para seu enquadramento, 2005.

GALVIS, G. et al. Filtração Lenta en Arena, Consideraciones sobre su uso en lè Tratamiento de Águas Superficiales. 1990.

GOPAL,B Natural and constructed wetlands for wastewater treatment: Potentials and problems Water Science And Technology, n. 44, p. 9 Vol. 40. 1999.

HERMANOWICZ, S.W. E ASANO, T. Abel Wolman's The Metabolism of cities revisited: a case for water recycling and reuse. Water Science and Technology, Vol. 40, No. 4-5, pp. 29-36, 1999.

HESPANHOL, I. Investigação sobre o Comportamento e Aplicabilidade de Filtros Lentos do Brasil. 163p. Tese de doutorado. (Hig. Saúde Pública)-Faculdade de Higiene e Saúde Pública –USP. São Paulo, 1989.

HUISMAN, L. "Research and Demonstration Project on Slow Sand Filtration." Reprinted for the AIDIS Congress Health in Panama. 105p., 1982.

- LANGLAIS, B; RECKHOW, D.A.; BRINK, D.R.eds Ozone in Water Treatment: Applications and Engineering. Lewis Publishers, Inc., Chelsea, Micg.; 1991.
- LANNA, A. E. Economia dos Recursos Hídricos. Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2001.
- LONDE, L. R. Eficiência da Filtração Lenta no Tratamento de Efluentes de Leitões Cultivados. Dissertação de Mestrado, FEAGRI-UNICAMP, Campinas, SP, 2002.
- MBWETTE, T. S. A. E GRAHAM, N. J. D. Protected Slow Sand Filtration: Specification of Non-Woven Synthetic Fabric Layers. *Water supply*, vol. 8, p.157-160. 1990b.
- MILTNER, R.J., SHUKAIRY, H.M., SUMMERS R.S. Disinfection By-product Formation and Control by Ozonation and Biotreatment. *Journal AWWA*, . p. 53-62, nov.1992.
- NAKAYAMA, F.S. Water treatment. In: Nakayama, F.S.; Bucks, D.A. Trickle irrigation for crop production - design, operation and management. Elsevier, Amsterdam, p. 164, 1986.
- MACHADO, J. C. S. (2004). Reuso da água doce. Ambientebrasil. Disponível em: <http://www.ambientebrasil.com.br/composer.php3?base+./água/doce/index.html&conteu... 5/1/2006>.
- ODEGAARD, H. 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. 1996.
- PAGE, R.G; COLLINS, M.R.; BAUER, M.J.; RACHWAL, A.J. NOM removals by “CAG Sandwich^{TN}” 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. 1996.
- PATERNIANI, J.E.S. Utilização de mantas sintéticas não tecidas na filtração em areia de águas de abastecimento. Tese de doutorado- EESC. USP, São Carlos, SP, 1991.

- PROBER, R., & PYEHA, J. Interaction of Activated Carbon with dissolved Oxygen, *AIChE*, v. 21, n.6, p.1200-1204. 1975.
- PROSAB - PROGRAMA DE PESQUISA EM SANEAMENTO BÁSICO. Tratamento de Águas de Abastecimento por Filtração em Múltiplas Etapas. Rio de Janeiro, 1999.
- RICHTER, C. A.; AZEVEDO NETTO, J. M.; Tratamento de água – Tecnologia atualizada, São Paulo, p. 24-8, 286-7, 1991.
- ROSTON, D. M. “Uso de várzeas artificiais para tratamento de efluente de tanque séptico”. Anais: XXIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, Campinas/SP, no 94-7-210, 1994.
- SAKODA, A.; WANG, J.; SUZUKI, M. Microbial activity in biological activatec carbon bed by pulse responses, *Wat. Sci. Tech*, vol. 34, nº5-6, p. 213-22. 1996.
- SOUZA, S. B. S.; CORAUCCI FILHO, B.; STEFANUCCI, R.; SILVA, R. S. P.; IGUEIREDO, R. F.; GUIMARÃES, J. R. Reuso de Efluente Doméstico em Irrigação: Avaliação a Contaminação por Nitrito e Nitrato no Perfil do Solo. In: XXIX Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Ribeirão Preto. 2003.
- SPERLING, M.V., Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos, DESA/UFMG, Belo Horizonte, vol.1, 243p., 1996.
- SOUZA, S. B. S. E.; Irrigação por infiltração com efluente de lagoa anaeróbia em solo cultivado com milho (*Zea mays L.*). Tese de Mestrado. FEC/UNICAMP. Campinas, SP, 2004.
- U.S.E.P.A. Design Manual on Constructed Wetlands and aquatic plant systems forMunicipal wastewater Treatment. EPA/625/1-88/022, CERL, Cincinnati – OH/USA, 1988, 83 p.
- VALENTIM, M. A. A.; Desempenho de leitos cultivados (“constructed wetland”) para tratamento de esgoto: contribuições para concepção e operação. Tese de Doutorado. FEAGRI/UNICAMP. Campinas, SP, 2003.

- VANDERLOOP, S.I.; SUIDAN, M. T.; BERCHTOLD S.R.; MOTELEB, M.A.; MALONEY, S. W. , Wat. Sci. Tech., v. 35, n.7, p.197-204, 1997.
- VARECHE, M. B. A. "Estudo sobre a Interferência de Algas no Sistema de Filtração Lenta em Areia." São Carlos, Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos, USP, 1989.
- VIDIC, R.D. & SULDAN, M.T. 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. 1991.
- WOUNDNEH, B. J.; LLOYD, B.J.; STEVENSON, D. 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. 1996
- WOOD, R. B. & McATAMNEY, C. F. Constructed wetlands for wastewater treatment: the use of laterite in the bed medium in phosphorus and heavy metal removal. Hydrobiologia, vol. 340, pp. 323-331, 1996.
- XIAOJIAN, Z.; ZHANSHENG, W.; XIASHENG, GU. Sample combination or biodegradation and carbon adsorption – the mechanism of the biological activated carbon process, v.25, n.2, p.165-172, 1991.