


Serviço de Pós-Graduação EESC/USP
EXEMPLAR REVISADO
Data do depósito na Biblioteca: 10.12.2000
Ass.: 

DESENVOLVIMENTO DE INSTALAÇÃO DE FILTRAÇÃO
COM CARVÃO ATIVADO IMPREGNADO COM PRATA
PARA MELHORIA DA QUALIDADE DA ÁGUA
DE CONSUMO HUMANO

Rogério Pecci Filho



Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Hidráulica e Saneamento

ORIENTADOR: Prof. Tit. Luiz Di Bernardo

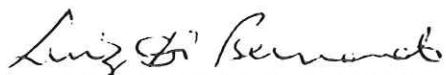
São Carlos

2000

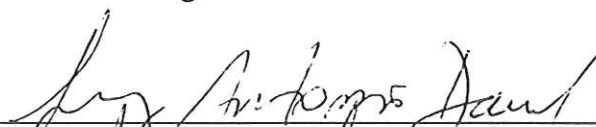
FOLHA DE APROVAÇÃO

Candidato: Engenheiro **ROGÉRIO PECCI FILHO**

Dissertação defendida e aprovada em 18-05-2000
pela Comissão Julgadora:



Prof. Titular **LUIZ DI BERNARDO (Orientador)**
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)



Prof. Doutor **LUIZ ANTONIO DANIEL**
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)



Prof. Doutor **SIDNEY SECKLER FERREIRA FILHO**
(Escola Politécnica - Universidade de São Paulo)



Prof. Associado **EDUARDO CLETO PIRES**
Coordenador do Programa de Pós-Graduação
em Hidráulica e Saneamento



JOSÉ CARLOS A. CINTRA
Presidente da Comissão de Pós-Graduação da EESC

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Rogério e Maria Cleide, que sempre me ensinaram: “a melhor herança que um pai pode deixar para seu filho é o conhecimento”.

Aos meus irmãos, Valéria e Neto, pelo apoio e amor.

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Titular Luiz Di Bernardo, brilhante Engenheiro, pela orientação sempre segura.

À Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP, pela bolsa de estudos concedida (Proc. 97/14441-4).

À Empresa BRASILAC – Indústria Química Ltda. pela doação do Carvão Ativado Impregnado com Prata.

À Angela, grande amiga, pela paciência, compreensão e principalmente incentivo durante a realização do trabalho.

Aos técnicos Júlio César Trofino (Laboratório de Saneamento), Francisco Carlos Bergamin (Laboratório de Instalações Hidráulico-Sanitárias), Flávia (Contabilidade) e Heloísa Gianotti (Laboratório de Processos Anaeróbios) pela ajuda e paciência.

Aos companheiros de república Paulinho, Samuca e Pipoca pelos momentos de descontração durante as etapas mais difíceis do trabalho.

SUMÁRIO

Lista de Figuras	i
Lista de Tabelas	iv
Lista de abreviaturas, siglas e símbolos.....	v
RESUMO	vii
ABSTRACT	viii
1- INTRODUÇÃO.....	1
2 – OBJETIVO.....	4
3- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
3.1 - O USO DO CARVÃO ATIVADO.....	5
3.2 – PRODUÇÃO DO CARVÃO ATIVADO.....	7
3.2.1 - MATÉRIA PRIMA.....	7
3.2.2 – PROCESSO DE ATIVAÇÃO.....	8
3.3 – ADSORÇÃO.....	9
3.3.1 – CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	9
3.3.2 – MECANISMOS DE ADSORÇÃO.....	9
3.3.3 – AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE DE ADSORÇÃO.....	12
3.3.4 – EQUILÍBRIO NA ADSORÇÃO.....	13
3.3.5 – ISOTERMAS DE ADSORÇÃO.....	13
3.3.6 – ISOTERMA DE FREUNDLICH.....	14
3.3.7 – ISOTERMA DE LANGMUIR.....	15
3.3.8 – FATORES QUE INFLUEM NO EQUILÍBRIO.....	16
3.3.9 ADSORÇÃO COMPETITIVA.....	20
3.4 – CINÉTICA DA ADSORÇÃO.....	22
3.4.1 - MECANISMOS DE TRANSPORTE.....	22
3.4.2 - ZONA DE TRANSFERÊNCIA DE MASSA.....	24
3.4.3 - CURVAS DE EXAUSTÃO.....	25
3.5 AVALIAÇÃO DE CARBONO ATIVADO.....	27
3.6 – PROPRIEDADES FÍSICAS.....	28
3.6.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	28
3.6.2 - DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA.....	28
3.6.3 - MASSA ESPECÍFICA DO MATERIAL.....	29
3.6.4 - MASSA ESPECÍFICA DA PARTÍCULA.....	29
3.6.5 - POROSIDADE INTERNA.....	30
3.6.6 - MASSA ESPECÍFICA EM FILTRO.....	30
3.6.7 - MASSA ESPECÍFICA APARENTE SECA.....	30
3.6.8 - MASSA ESPECÍFICA APARENTE EM FILTRO.....	31
3.7 – CARVÃO ATIVADO EXISTENTE NO MERCADO.....	32
3.8 – CARVÃO ATIVADO EM UNIDADES DE FILTRAÇÃO.....	32
3.9 USO DE PRATA.....	34
3.9.1 – CARACTERÍSTICAS GERAIS DA PRATA.....	34
3.9.2 COMPOSTOS DE PRATA.....	35
3.9.3 CARVÃO ATIVADO IMPREGNADO COM PRATA.....	36
3.10 – CONSIDERAÇÕES SOBRE A FILTRAÇÃO.....	38
3.10.1 INTRODUÇÃO.....	38
3.10.2 – MECANISMOS DA FILTRAÇÃO EM MEIO GRANULAR.....	39
3.10.3 – MECANISMOS DE TRANSPORTE.....	40
3.11 – UTILIZAÇÃO DE MANTAS SINTÉTICAS NÃO TECIDAS.....	41
3.11.1 - INTRODUÇÃO.....	41
3.11.2 – CARACTERÍSTICAS DAS MANTAS.....	42

3.11.3 – USO DE MANTAS SINTÉTICAS NÃO-TECIDA EM TRATAMENTO DE ÁGUA DE ABASTECIMENTO.....	44
4 – MATERIAIS E MÉTODOS.....	46
4.1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	46
4.2 – EQUIPAMENTOS UTILIZADOS.....	46
4.3 – INSTALAÇÃO DE ESTUDO.....	47
4.4 – CARVÃO ATIVADO IMPREGNADO COM PRATA E MANTA SINTÉTICA NÃO TECIDA.....	50
4.4.1 – DETERMINAÇÃO DO NÚMERO DE IODO.....	51
4.4.2 – DETERMINAÇÃO DA GRANULOMETRIA.....	51
4.4.3 – LAVAGEM DO CAIP.....	52
4.5 – PREPARAÇÃO DAS ÁGUAS DE ESTUDO.....	53
4.5.1 – CARACTERÍSTICAS DAS ÁGUAS DE ESTUDOS.....	54
4.5.2 – PROCEDIMENTO PARA REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS.....	55
4.5.3 – DETERMINAÇÃO DA TAXA VOLUMÉTRICA E DE FILTRAÇÃO.....	56
4.6 – COLETA DE AMOSTRAS.....	58
4.6.1 – ETAPA 1.....	59
4.6.2 – ETAPA 2.....	59
4.6.3 – ETAPA 3 (MODO PARTIDA).....	60
4.6.4 – LAVAGEM DOS FRASCOS E VIDRARIA.....	60
4.7 – MICROSCOPIA ELETRÔNICA.....	61
5 – RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	63
5.1 – ENSAIOS COM A ÁGUA TIPO I.....	65
5.1.1 – TURBIDEZ.....	65
5.1.2 – COR APARENTE.....	66
5.1.3 – ABSORBÂNCIA ($\lambda - 254\text{ nm}$).....	67
5.1.4 – CARBONO ORGÂNICO TOTAL.....	67
5.1.5 – pH E CONCENTRAÇÃO DE PRATA.....	68
5.1.6 – TAXAS VOLUMÉTRICAS E DE FILTRAÇÃO.....	68
5.2 – ENSAIOS COM A ÁGUA TIPO II.....	69
5.2.1 – TURBIDEZ.....	69
5.2.2 – COR APARENTE.....	70
5.2.3 – CARBONO ORGÂNICO TOTAL.....	71
5.2.4 – pH E CONCENTRAÇÃO DE PRATA.....	72
5.2.5 – COLIFORMES TOTAIS E FECAIS.....	74
5.2.6 – TAXAS VOLUMÉTRICAS E DE FILTRAÇÃO.....	75
5.3 – ENSAIOS COM A ÁGUA TIPO III.....	76
5.3.1 – TURBIDEZ.....	76
5.3.2 – CARBONO ORGÂNICO TOTAL.....	77
5.3.3 – pH E CONCENTRAÇÃO DE PRATA.....	78
5.3.4 – COLIFORMES TOTAIS E FECAIS.....	80
5.3.5 – NITRATO.....	82
5.3.6 – TAXAS VOLUMÉTRICAS E DE FILTRAÇÃO.....	83
5.4 – MICROSCOPIA ELETRÔNICA.....	85
5.5 – VERIFICAÇÃO DO DESPREENDIMENTO DA PRATA NA ÁGUA.....	87
5.6 – AFERIÇÃO DA LEITURA DO ESPECTOFOTÔMETRO DO LABORATÓRIO DE SANEAMENTO.....	88
5.7 – DISCUSSÃO FINAL.....	89
6 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	90
ANEXO A – Resultados dos Ensaio com a Água Tipo I.....	93
ANEXO B – Resultados dos Ensaio com a Água Tipo II.....	122

ANEXO C – Resultados dos Ensaio com a Água Tipo III.....	165
ANEXO D – Fotos Obtidas no Microscópio Eletrônico de Varredura.....	202
7- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	207
APÊNDICE – Programa Biblioteca Eletrônica	

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 - Fluxograma da produção de carvão ativado (PROCESS DESIGN MANUAL FOR CARBON ADSORPTION, 1973).....	9
Figura 3.2 - Distribuição do volume dos poros para diferentes tipos de carvão ativado granular (AWWA, 1990).....	17
Figura 3.3 - Isotermas de adsorção para um determinado ácido fúlvico (AWWA, 1990).....	18
Figura 3.4 - Isoterma não linear para uma mistura heterogênea de compostos orgânicos (AWWA, 1990).....	20
Figura 3.5 - Adsorção de <i>p</i> -nitrofenol como uma função da concentração de <i>p</i> -bromofenol (JAIN e SNOEYINK, 1973)	21
Figura 3.6 - Mecanismos de transporte envolvidos no processo de adsorção (MONTGOMERY et al. apud FERREIRA FILHO, 1996).....	23
Figura 3.7 - Definição da zona de transferência de massa em meios adsorvedores (a) coluna com ZTM estabelecida ; (b) coluna sem ZTM (AWWA, 1990).....	25
Figura 3.8 - Curva de exaustão de uma coluna de adsorção (AWWA, 1990).....	26
Figura 3.9 - Localização Hipotética de microrganismos e de partículas de argila em meio filtrante de CAG utilizado em filtro biológico (AHMAD et. al., 1998).....	33
Figura 3.10 - Coliformes totais remanescentes para tempo de contato de 5,0 min e velocidade de sedimentação 1 cm/min, com NMP de coliformes totais inicial igual a 2710 / 100ml. (SOUZA et. al., 1997).....	37
Figura 3.11 - Coliformes totais remanescentes para tempo de contato de 2,5 min, com NMP de coliformes totais inicial igual a 2070 / 100ml. (SOUZA et. al, 1997).....	37
Figura 3.12 - Comparação dos valores da Concentração Remanescente de algas ($C_0=1,48E5$ ind/l) em função da dosagem de CAPIP(mg/l) para diferentes velocidades de flotação (PECCI, 1998).....	38
Figura 3.13 - Retenção de partículas de sílica com 5 a 10 μ m em grãos de arcia com dimensões de 0,5 a 1,0 mm (AWWA, 1990).....	40
Figura 3.14 - Mecanismos de Transporte na Filtração com Ação de Profundidade (DI BERNARDO, 1993).....	41

Figura 4.1 -	Desenho esquemático da Instalação de Filtração com CAGIP.....	47
Figura 4.2 -	Instalação de Filtração com CAGIP.....	48
Figura 4.3 -	Filtro Piloto.....	49
Figura 4.4 -	Esquema do filtro piloto.....	49
Figura 4.4 -	Desenho esquemático do aparelho de lavagem.....	52
Figura 4.6 -	Coleta de amostra.....	58
Figura 4.7 -	Agitador durante a realização do ensaio.....	59
Figura 5.1 -	Variação da Turbidez da Água Tipo I e do Efluente em função do tempo de operação no ensaio 4. Temp.: 25±1°C.....	65
Figura 5.2 -	Variação da Cor Aparente da Água Tipo I e do Efluente em função do tempo de operação no ensaio 6. Temp.: 25±1°C.....	66
Figura 5.3 -	Variação da Absorbância ($\lambda=254$ nm) da Água Tipo I e do Efluente em função do tempo de operação no ensaio 8. Temp.: 25±1°C.....	67
Figura 5.4 -	Variação do pH e Concentração de Prata da água tipo I e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 6. Temp.: 25 ± 1° C.....	68
Figura 5.5 -	Variação das Taxas de Filtração em função do tempo de operação do filtro piloto nos ensaios 1 a 8. Água Tipo I.....	69
Figura 5.6 -	Variação da Turbidez da Água Tipo II e do Efluente em função do tempo de operação no ensaio 15. Temp.: 25±1°C.....	70
Figura 5.7 -	Variação da Cor Aparente da água tipo II e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 13. Temp.: 25 ± 1° C.....	71
Figura 5.8 -	Variação da Carbono Orgânico Total da Água Tipo II e do Efluente em função do tempo de operação no ensaio 13. Temp.: 25±1°C.....	72
Figura 5.9 -	Variação do Carbono Orgânico Total da Água Tipo II e do Efluente em função do tempo de operação no ensaio 15. Temp.: 25±1°C.....	72
Figura 5.10 -	Variação do pH e Concentração de Prata da água tipo II e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 11. Temp.: 25 ± 1° C.....	73
Figura 5.11	Variação do pH e Concentração de Prata da água tipo II e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 14. Temp.: 25 + 1° C.....	73
Figura 5.12	Variação de Coliformes Totais da Água Tipo II e do Efluente em função do tempo de operação no ensaio 11. Temp.: 25±1°C.....	74
Figura 5.13	Variação da Taxa de Filtração em função do tempo de operação do filtro piloto nos ensaios 9 a 15, com Água Tipo II.....	75
Figura 5.14	Variação da Turbidez da Água Tipo III e do Efluente em função do tempo de operação no ensaio 16. Temp.: 25±1°C.....	76

Figura 5.15 - Variação da Turbidez da Água Tipo III e do Efluente em função do tempo de operação no ensaio 20. Temp.: $25\pm 1^{\circ}\text{C}$	77
Figura 5.16 - Variação do Carbono Orgânico Total da Água Tipo III e do Efluente em função do tempo de operação no ensaio 23. Temp.: $25\pm 1^{\circ}\text{C}$	78
Figura 5.17 - Variação do Carbono Orgânico Total da Água Tipo III e do Efluente em função do tempo de operação no ensaio 19. Temp.: $25\pm 1^{\circ}\text{C}$	78
Figura 5.18 - Variação do pH e Concentração de Prata da Água Tipo III e do Efluente em função do tempo de operação no ensaio 19. Temp.: $25\pm 1^{\circ}\text{C}$	79
Figura 5.19 - Variação do pH e Concentração de Prata da Água Tipo III e do Efluente em função do tempo de operação no ensaio 20. Temp.: $25\pm 1^{\circ}\text{C}$	79
Figura 5.20 - Variação de Coliformes Totais da água tipo III e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 19. Temp.: $25 \pm 1^{\circ}\text{C}$	81
Figura 5.21 - Variação de Coliformes Totais da água tipo III e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 20. Temp.: $25 \pm 1^{\circ}\text{C}$	81
Figura 5.22 - Variação de Coliformes Fecais da água tipo III e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 22. Temp.: $25 + 1^{\circ}\text{C}$	82
Figura 5.23 - Variação do Nitrato da água tipo III e do efluente em função do tempo de operação do filtro piloto no ensaio 16. Temp.: $25\pm 1^{\circ}\text{C}$	82
Figura 5.24 - Variação do Nitrato da água tipo III e do efluente em função do tempo de operação do filtro piloto no ensaio 23. Temp.: $25\pm 1^{\circ}\text{C}$	83
Figura 5.25 - Variação da Taxa de Filtração em função do tempo de operação do filtro piloto nos ensaios 16 a 23. Água tipo III.....	84
Figura 5.26 - Sítios de ativação do CAGIP, sem contato com água Aumento de 500x.....	86
Figura 5.27 - Após contato com água Tipo II verificou-se a presença de Bactérias de morfologia de bacilos.....	86
Figura 5.28 - Frascos com boca esmerilhada contendo água de estudo com diferentes valores de pH.....	87
Figura 5.29 - Comparação das leituras do Espectrofotômetro do Laboratório de Saneamento com o do Departamento de Química.....	89
Figuras A1 a A39	101
Figuras B1 a B49	136
Figuras C1 a C56	173
Figuras D1 a D10	202

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Massa Específica dos Materiais Filtrantes Usuais (DI BERNARDO, 1993).....	29
Tabela 3.2 - Principais Propriedades Físicas de 20 Mantas não Tecidas (MBWETTE e GRAHAM, 1990).....	42
Tabela 3.3 - Propriedades físicas de quatro mantas sintéticas não tecidas produzidas no Brasil (PATERNIANI, 1991).....	43
Tabela 4.1 - Características do CAGIP.....	50
Tabela 4.2 - Características da Manta Sintética utilizada no Filtro Piloto.....	51
Tabela 4.3 - Características da Água do Poço Profundo e das Água Tipo I, Tipo II e Tipo III.....	55
Tabela 5.1 - Quadro Geral dos Resultado e Discussão.....	64
Tabela 5.2 - Medida de Prata dissolvida em função do valor do pH da água de estudo.....	88
Tabelas A1 a A8	93
Tabelas B1 a B14	122
Tabelas C1 a C 8	165

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ϵ_o	-porosidade [%]
ϵ_p	-porosidade interna [%]
ρ_m	-massa específica do material [ML ⁻³]
ρ_{pc}	-massa específica da partícula [ML ⁻³]
ρ_{pf}	-massa específica em filtro [ML ⁻³]
ρ_{aps}	-massa específica aparente seca [ML ⁻³]
ρ_{apf}	-massa específica aparente em filtro [ML ⁻³]
λ	-comprimento de onda
A	-adsorvato
A.B	-compostos adsorvidos
ABNT	-Associação Brasileira de Normas Técnicas
Abs.	-Absorbância
B	-adsorvente
C_o	-concentração inicial [ML ⁻³]
C_B	-concentração de exaustão para uma coluna [ML ⁻³]
C_{efl}	-concentração no efluente [ML ⁻³]
C_e	-concentração do adsorvato no equilíbrio na solução [ML ⁻¹]
CA	-Carvão Ativado
CAG	-Carvão Ativado Granular
CAGIP	-Carvão Ativado Granular Impregnado com Prata
CAIP	-Carvão Ativado Impregnado com Prata
CAP	-Carvão Ativado Pulverizado
CAPIP	-Carvão Ativado Pulverizado Impregnado com Prata
COD	-Carbono Orgânico Dissolvido
COT	-Carbono Orgânico Total
CUR	-taxa de utilização de carvão ativado [LT ⁻¹]
DQO	-Demanda Química de Oxigênio
EESC-USP	-Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo
HOD	-Halogênio Orgânico Dissolvido
$L_{crítico}$	-altura crítica de uma coluna [L]

L_{ZTM}	-comprimento da ZTM[L]
MNT	-manta não sintética
NMP	-número mais provável
PA	-poliamida
PBP	-p-bromofenol
PE	-polietileno
PET	-polietileno tereftalato
PES	-poliéster
PNP	-p-nitrofenol
PP	-polipropileno
ProBE	-Programa Biblioteca Eletrônica
Q	-vazão[L ³ T ⁻¹]
T_{AS}	-taxa de filtração [LT ⁻¹]
$T_{VOLUMÉTRICA}$	-taxa volumétrica[MM ⁻¹]
Temp.	-temperatura
$TCLV_{min}$	-tempo de contato de leito vazio mínimo[T]
V_{CAGIP}	-volume do CAGIP [L ³]
$V_{Filtrado}$	-volume filtrado [L ³]
V_{Filtro}	-volume do filtro piloto [L ³]
ZTM	-zona de transferência de massa
b	-constante de energia de adsorção
d	-diâmetro [L]
k	-coeficiente da capacidade de adsorção do adsorvato pelo adsorvente
n	-coeficiente de adsorção
q_e	-quantidade de adsorvato por unidade de adsorvente[MM ⁻¹]
ppm	-partes por milhão
uC	-unidade de cor
uT	-unidade de turbidez

RESUMO

PECCI FILHO, R. (2000). *Desenvolvimento de Instalação de Filtração com Carvão Ativado Impregnado com Prata para Melhoria da Qualidade da Água de Consumo Humano*. São Carlos, 2000, 210p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

Tendo em vista a existência de muitas comunidades no Estado de São Paulo (e em outros estados do Brasil), que utilizam água muitas vezes com qualidade imprópria ao consumo humano, o presente trabalho visa o desenvolvimento de uma instalação de filtração utilizando Carvão Ativado Impregnado com Prata (CAIP) com o intuito de eliminar alguma contaminação na água tratada devido à problemas tais como anomalias operacionais na ETA, tecnologia de tratamento inadequada, contaminação da rede de distribuição, reservação, dentre outros. Para a investigação experimental foram preparados três tipos de água de estudo, com baixos valores de turbidez e cor aparente. A água tipo I era isenta de contaminação, as águas tipo II e III apresentaram coliformes totais e fecais, sendo que a água tipo III utilizada na simulação da instalação como filtro domiciliar. Os ensaios realizados apresentaram taxa de filtração entre 200 e 250 m³/m²*d. Os resultados indicam que o CAIP apresentou propriedades adsorventes e é um poderoso agente desinfetante, reduzindo significativamente o NMP de coliformes totais e fecais de águas contaminadas. Porém, a desinfecção não foi completa e ocorreu excessivo desprendimento da prata do CAIP, inviabilizando o uso deste CAIP nesta instalação desenvolvida.

Palavras chave: Carvão Ativado, Prata, Filtração, Desinfecção

ABSTRACT

PECCI FILHO, R. (2000). *Development of a Activated Carbon Supporting Silver Installation for the Improvement of Water Quality for Human Consumption*. São Carlos, 2000, 210p Dissertation (Master) – School of Engineering of São Carlos, University of São Paulo.

Minding the existence of many communities within the state of São Paulo (and other Brazilian states) which often use water unfit for human consumption, this work aims at the development of a filtering installation that uses Activated Carbon supporting Silver (AC(Ag)) in an attempt to eliminate any contamination in treated water. Such water contamination problems include, operational anomalies in the WTP, inadequate treatment technologies, contamination in the distribution net, and other filter specific problems. For the experimental investigation three types of test water were prepared, with low turbidity and apparent color values. Water type I was contamination-free, water type II and III had total and fecal coliforms, and water type III was used in the simulation of domestic filtering installation. Tests showed a filtering rate between 200 and 250 $\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$. Results point that AC(Ag) has adsorbent capabilities, in addition to being a powerful disinfection agent, and reduced significantly the number of total and fecal coliforms of contaminated waters. However, disinfection was not thoroughly, and silver was excessively dragged away, from the Activated Carbon, thus rendering the use of AC(Ag) unadvisable in the developed installation.

Keywords : Activated Carbon, Silver, Filtration, Disinfection

1- Introdução

A água destinada ao consumo humano deve preencher condições mínimas para que possa ser ingerida ou utilizada para fins higiênicos, tais como estar isenta de microrganismos patogênicos e com teores de substâncias orgânicas ou inorgânicas que não sejam prejudiciais ao ser humano. Com o desenvolvimento e aprimoramento de técnicas para o exame e a análise das águas e o conhecimento do prejuízo potencial que novas substâncias podem causar à saúde pública, foram propostos, principalmente nos países desenvolvidos, Padrões e Normas cada vez mais restritivos à qualidade da água a ser distribuída ao ser humano, principalmente a partir da década de setenta.

Paralelamente, as tecnologias de tratamento de água evoluíram consideravelmente, podendo-se dizer que qualquer água pode ser tratada e destinada ao consumo, embora os custos e os riscos envolvidos possam ser extremamente elevados. Somente um estudo detalhado da qualidade da água bruta e, às vezes, a execução de pesquisas em instalações piloto, podem fornecer os elementos necessários para a definição da tecnologia de tratamento apropriada à qualidade de água bruta em questão, com o fim de torná-la potável, ou seja, para que atenda aos requisitos mínimos necessários para ser própria ao consumo. A pré-cloração tem sido comumente adotada quando há florescimentos algais ou a presença de coliformes fecais nos mananciais, o que pode contribuir para a formação de compostos tóxicos ao ser humano, tais como os organo-clorados, em sua maioria considerados cancerígenos. Além disso, esses organismos, especialmente as cianobactérias, produzem toxinas que podem levar o ser humano à morte. Neste contexto, o carvão ativado vem sendo utilizado como principal produto para remover substâncias orgânicas. O uso do carvão ativado pode ser em pó (CAP) ou granular (CAG); para a utilização de carvão ativado pulverizado, é preparada uma suspensão e adicionada à

água bruta ou à água decantada enquanto que, para o carvão ativado granular, têm-se colunas contendo o material, através do qual escoar a água.

Por meio da Resolução CONAMA de 15 de Junho de 1986, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (1986) classificou as águas doces, salobras e salinas no Brasil, e fixou limites para diversos parâmetros de qualidade das águas destinadas ao consumo humano e estabeleceu o tipo de tratamento requerido em cada caso. A dificuldade da medição de mais de cinquenta parâmetros orgânicos e inorgânicos, tem levado muitos pesquisadores, como Branco (1989), a criticar tal resolução e sugerir o emprego de bio-ensaios para verificar a toxicidade da água bruta e da água tratada.

Os coliformes têm sido utilizados como indicadores de poluição recente de fezes e, eventualmente, de contaminação, tendo a Portaria nº 36 GM de 19 de Janeiro de 1990, limitado o NMP (número mais provável) de coliformes totais em zero UFC/100 ml quando a amostra for coletada na entrada da rede de distribuição; nas amostras procedentes da rede de distribuição, 95% não deverão conter coliformes totais em 100 ml e nos 5% das amostras restantes, serão tolerados até 3 coliformes totais em 100 ml, desde que isso não ocorra em duas amostras consecutivas, coletadas sucessivamente no mesmo ponto. Embora não seja considerado na Resolução do CONAMA ou na norma da ABNT(1989), o teor de COT - carbono orgânico total tem sido recomendado pela AWWA (1990) para se ter idéia da quantidade de matéria orgânica na água e indicar a necessidade de pré-tratamento. Recentemente, a absorvância a $\lambda=254$ nm passou também a ser usada como indicadora da presença de matéria orgânica natural presente na água.

As mantas não tecidas são empregadas em ETAs de ciclo completo objetivando a retenção de parte das impurezas encaminhadas ao meio filtrante granular, visando aumentar a duração da carreira de filtração sem prejudicar a qualidade do efluente, de modo a reduzir os custos operacionais das estações.

Tendo em vista a existência de muitas comunidades no Estado de São Paulo (e em outros estados do Brasil), que utilizam água muitas vezes com qualidade imprópria ao consumo humano, o presente trabalho visa o desenvolvimento de uma instalação de filtração utilizando carvão ativado impregnado com prata (CAIP) com o intuito de eliminar alguma contaminação na água tratada devido à problemas tais

como anomalias operacionais na ETA, tecnologia de tratamento inadequada, contaminação da rede de distribuição, dentre outros. Sendo assim, a instalação a ser desenvolvida poderá ser usada em situações de emergência, para desabrigados em caso de catástrofes, bem como, se for comprovada sua eficiência, ser usada pelo Governo Brasileiro para as unidades do exército em áreas que não haja possibilidade de instalação de estação de tratamento, dependendo da qualidade da água bruta.

2 - Objetivo

O presente trabalho tem os seguintes objetivos:

- a) desenvolver instalação de filtração utilizando o carvão ativado impregnado com prata (CAIP) protegido com manta sintética não tecida;
- b) estudar o comportamento do CAIP em relação à:
 - i) adsorção de matéria orgânica;
 - ii) ação desinfetante da Prata;
 - iii) desprendimento de Prata na água;
- c) simular o uso da instalação desenvolvida como filtro domiciliar.

3- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 - O USO DO CARVÃO ATIVADO

O carvão ativado adsorve a maior parte das substâncias orgânicas que causam sabor e odor, cor, mutagenicidade e toxicidade. O carvão ativado é uma forma de carbono especificadamente tratada para aumentar significativamente suas propriedades de adsorção. Este material poroso e comumente de origem natural, é importante devido suas propriedade adsortivas, sendo sua característica física mais significante a enorme área superficial interna, que é desenvolvida durante o processo de produção (PROCESS DESIGN MANUAL FOR CARBON ADSORPTION, 1973).

Este produto carbonáceo possui uma estrutura porosa que proporciona uma área superficial interna de, comumente, 600 a 1.200 m²/g. A superfície é produzida por oxidação e o material carbonáceo desenvolve uma rede porosa que irá reter a substância a ser adorvida. O carvão ativado pode ser utilizado no processo de tratamento de água na forma de pó ou granular. É muito comum o emprego de carvão ativado granular (CAG) para o tratamento de águas industriais, notadamente aquelas de alimentação, de bebidas e de outras nas quais a água tratada deve se apresentar isenta ou com concentração muito baixa de substâncias orgânicas.

Usualmente o CAG possui grãos com tamanho entre 0,5 mm e 2,00 mm, podendo ser utilizado na forma de sistemas pós filtros-adsorvedores ou filtros-adsorvedores. Segundo GRAESE¹ et al. apud FERREIRA FILHO (1996) em sistemas pós filtros-adsorvedores, os processos de filtração e adsorção são realizados

¹ GRAESE, S.L., SNOEYINK, V.L., LEE, R.G. Granular actived carbon filter-adsorber systems. Journal American Water Works Association, pag 64-73, December, 1987.

em unidades distintas, ao passo que, nos sistemas filtros-adsorvedores ambos processos ocorrem na mesma unidade.

As colunas de CAG podem ser pressurizadas ou funcionarem por gravidade. Filtros pressurizados podem operar em uma larga faixa de variação de vazão devido as variações de pressão que podem ser criadas. Estes filtros são algumas vezes mais baratos para projetar e construir porque podem ser pré-fabricados e transportados até o local. Uma desvantagem é a dificuldade de visualização do material. Os filtros de CAG podem ser tanto com escoamento ascendente como descendente, sendo que no ascendente podem apresentar leito fixo ou fluidificado. Colunas com escoamento descendente são mais comuns e adaptadas para sistemas de tratamento de água.

Em estudos de controle de trihalometanos em sistemas de abastecimento, LIMA ISAAC (1993) estudou a remoção destes subprodutos da cloração por adsorção em colunas de CAG e concluiu que sua utilização propicia a remoção não só de trihalometanos, mas também de outros compostos orgânicos presentes na água, melhorando a qualidade da água tratada.

No âmbito do tratamento de águas residuárias, MENDONÇA et. al. (1998) avaliaram a evolução da aderência de biofilme em partículas de poliamida, polibutireno tereftalato e carvão ativado granular, as quais foram utilizadas como material suporte em reatores anaeróbios de filme fixo. Concluíram que o CAG foi o material que apresentou maior potencialidade em reter microrganismos com formação de agrupamentos na sua superfície.

Os carvões ativados pulverizados (CAP) têm partículas com tamanho máximo de 100 μm , com tamanho correspondente à 90 % que passa (em peso), na curva de distribuição granulométrica, igual à cerca de 50 μm (ABNT - MB3410 - Carvão Ativado Pulverizado - Determinação do Número de Iodo, 1990). A massa específica aparente do CAP varia de 360 a 740 mg/cm^3 , em função do material utilizado na fabricação.

As principais vantagens do CAP em relação ao CAG são o investimento inicial bem menor e a flexibilidade da alteração da dosagem aplicada com a mudança da qualidade da água. Esta última vantagem é importante ser levada em conta no caso de águas que requerem o uso de carvão ativado durante o ano todo. As desvantagens estão relacionadas à impossibilidade de regeneração, remoção

relativamente baixa de compostos orgânicos voláteis, aumento do volume e massa seca do lodo e a remoção das próprias partículas de carvão.

O local de introdução da suspensão de CAP na água deve ser escolhido com base em: mistura eficiente, tempo de contato suficiente para garantir a adsorção dos contaminantes, interferência mínima com os demais produtos químicos aplicados na estação. O tempo de contato necessário pode variar desde cerca de 10 minutos até 120 minutos, dependendo da existência de um ou mais contaminantes e da interferência dos flocos, já que as partículas do carvão são incorporadas aos mesmos, reduzindo a capacidade de adsorção. Normalmente, a aplicação do CAP é efetuada diretamente na água bruta ou na própria mistura rápida juntamente com o coagulante e demais produtos químicos (DI BERNARDO, 1993).

3.2 – PRODUÇÃO DO CARVÃO ATIVADO

3.2.1 - MATÉRIA PRIMA

Os carvões ativados granulados (CAG) são produzidos a partir de matérias-primas rígidas, de modo a adquirirem dureza necessária para evitar perdas excessivas devido à fricção e manuseio. De forma geral, qualquer matéria-prima carbonácea poderia ser utilizada para a fabricação de carvão ativado, contudo, nem todas são economicamente viáveis. As mais utilizadas, no Brasil, são de origem vegetal, como madeiras de pinus, acácia e as cascas de coco. Ossos de animais também são utilizados para a produção de um tipo específico de carvão ativado. Pode-se utilizar o carvão mineral como a hulha e o antracito, embora não seja prática usual no Brasil.

Segundo SONTHEIMER et. al.(1988), a manutenção de um baixo teor de impurezas e sua disponibilidade com uma qualidade constante são as principais características quando da escolha de uma determinada matéria prima para a produção de um dado carvão ativado. São utilizados em colunas de leitos fixos ou móveis, através dos quais o fluido passa. Podem ser utilizados em processos de adsorção em fase líquida ou gasosa, e oferecem economia incomum nos casos em que regenerações sucessivas são favoráveis.

3.2.2 – PROCESSO DE ATIVAÇÃO

Como descrito no AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM) em 1989, a ativação do carvão ativado é por ação química ou física.

No caso da ativação física, o material carbonáceo é submetido a um estágio denominado Carbonização, no qual a umidade e materiais voláteis são removidos através da elevação da temperatura sob condições atmosféricas controladas. Na etapa seguinte, são injetados no material os agentes ativantes, normalmente ar, vapor ou gás carbônico, à temperatura de 800 a 1.000 °C. Nesta fase ocorrem reações e uma mistura de gases, composta principalmente de monóxido de carbono e hidrogênio, é liberada. Os gases são produzidos como consequência da reação do agente ativante com o material carbonáceo, sendo que o consumo de carvão resultante produz a estrutura porosa. Após a Ativação, o carvão ativado é submetido às etapas subsequentes, como resfriamento, peneiramento, lavagem, moagem, polimento, separação granulométrica e embalagem.

Na ativação química, o material a ser ativado é colocado em contato com um agente ativante químico como ácido fosfórico ou cloreto de zinco. A mistura é submetida ao aquecimento sob condições controladas para ocorrer a ativação. O agente ativante deve ser removido posteriormente pela lavagem do material.

Na figura 1 é mostrado o fluxograma da produção do carvão ativado.

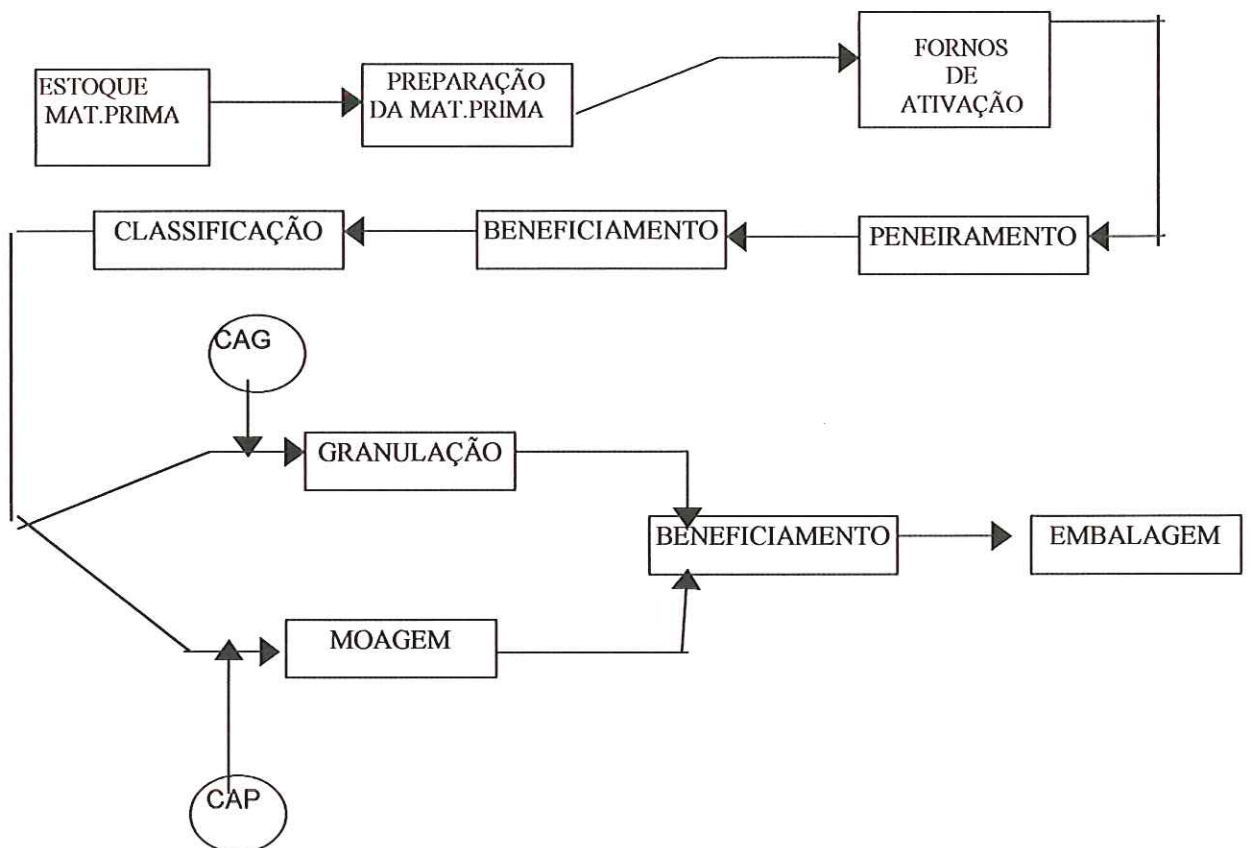


FIGURA 3.1 - Fluxograma da produção de carvão ativado
Fonte : PROCESS DESIGN MANUAL FOR CARBON ADSORPTION(1973)

3.3 – ADSORÇÃO

3.3.1 – CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Segundo LIMA ISAAC (1993), adsorção é o processo físico-químico no qual uma substância é acumulada numa interface entre fases. Para propósito de tratamento de água, a adsorção a partir de soluções ocorre quando impurezas contidas na água acumulam-se numa interface sólido-líquido. O adsorvato é a substância que está sendo removida da fase líquida. O adsorvente é a fase sólida na qual ocorre acumulação.

3.3.2 – MECANISMOS DE ADSORÇÃO

A adsorção de substâncias em adsorventes ocorre porque há forças que atraem o adsorvato da solução para a superfície sólida. De outra maneira, pode-se ver

isto termodinamicamente como um caso em que o adsorvato tem uma menor energia livre na superfície do que na solução. Enquanto está buscando atingir o equilíbrio, o adsorvato desloca-se para a superfície para atingir um estado de menor energia de acordo com a segunda lei da termodinâmica. Segundo SNOEYINK (1990), os mecanismos específicos pelos quais o adsorvato é atraído para a interface sólido-líquido podem ser físicos ou químicos:

Adsorção física: a força eletrostática é o princípio físico básico para descrever as interações entre moléculas de adsorvente e adsorvato. Além da atração e repulsão eletrostática baseada na Lei de Coulomb, há outras interações físicas entre moléculas baseadas na força eletrostática, incluindo interações dipolo-dipolo, interações de dispersão e pontes de hidrogênio. Diz-se que uma molécula possui um momento de dipolo quando há uma separação das cargas positivas e negativas dentro dela. Moléculas de H_2O e NH_3 têm dipolos permanentes devido à configuração de átomos e elétrons dentro delas, são compostos polares. Quando dois dipolos estão perto um do outro, tendem a orientar suas cargas para diminuir sua energia livre combinada: as cargas negativas de um tendem a aproximar-se das cargas positivas do outro. Quando as forças eletrostáticas entre as cargas das duas moléculas são somadas, a interação dipolo-dipolo resultante é de atração entre as duas. Moléculas polares tendem a atrair-se umas às outras. As pontes de hidrogênio constituem um caso especial da interação dipolo-dipolo no qual o átomo de hidrogênio em uma molécula tem uma carga positiva parcial e atrai um átomo ou outra molécula que tenha uma carga negativa parcial.

Quando duas moléculas neutras que não possuem dipolos permanentes aproximam-se, uma polarização fraca é induzida em cada uma resultando numa interação fraca entre as moléculas, conhecida com interação de dispersão ou força de London-Van der Waals.

Em geral, no tratamento de água há interesse na adsorção de um adsorvato orgânico, de um solvente polar(água) em um adsorvato não polar(carvão ativado). Normalmente, a atração entre adsorvato e solvente polar é mais fraca para adsorvatos de natureza menos polar; um adsorvato não polar é menos estabilizado por dipolo-dipolo ou pontes de hidrogênio à água, o que é conhecido como ligação hidrofóbica; compostos hidrofóbicos adsorverão no carbono mais fortemente. Como exemplo, a

adsorção de ácidos orgânicos da solução aquosa no carvão é mais forte à medida que o comprimento da molécula aumenta, uma vez que a cadeia de carbono mais longa é mais apolar.

Adsorção química: a adsorção química também é baseada em forças eletrostáticas. A diferença entre adsorção física e química não é muito distinta; a primeira é menos específica com relação a quais compostos adsorvem a quais sítios na superfície, tem forças e energia de ligação mais fracas, opera a longas distâncias e é mais reversível. Na adsorção química, a atração entre adsorvente e adsorvato aproxima-se daquela de uma ligação química covalente entre átomos, com menor comprimento e maior energia de ligação. Os adsorvatos ligados por adsorção química a uma superfície, geralmente não podem acumular-se em mais do que uma única camada, devido à especificidade da ligação entre o adsorvato e superfície. A ligação pode ser também específica para sítios particulares ou grupos funcionais na superfície do adsorvente.

Adsorção de eletrólitos: para a adsorção de espécies orgânicas a superfícies, o mecanismo mais importante é a atração eletrostática, a qual é muito dependente do pH e da força iônica. A adsorção de eletrólitos pode ser usada para controlar metais pesados, fluoretos e alguns outros minerais. O uso de resinas sintéticas tem sido sugerido para a remoção específica de eletrólitos.

A adsorção de ácidos e bases em adsorventes não polares como o carvão ativado, pode depender fortemente do pH. Enquanto ambas formas, neutra e ionizadas destes compostos, podem adsorver no carvão, as formas ionizadas tendem a ser estabilizadas por interação com a água (polar). Isto significa que a adsorção de formas neutras é geralmente mais forte, e o pH do meio, em que ocorre a remoção máxima depende da constante de dissociação particular do ácido ou base (SNOEYINK, 1990).

Dessorção: A adsorção de muitos compostos é reversível, o que significa que eles podem sofrer dessorção. A dessorção pode ser causada pelo efeito da competição ou por uma queda na concentração afluente. Ambos fenômenos podem ocorrer em algumas situações. Uma análise da dessorção, realizada por THACKER

et al. (1983), mostrou que a quantidade de adsorvato que pode sofrer dessorção devido a uma queda na concentração afluente aumentou quando: o coeficiente de difusão do adsorvato aumentou; a quantidade composto adsorvido aumentou; a força da adsorção diminuiu; o tamanho do grão de carvão ativado diminuiu. Compostos orgânicos voláteis são especialmente susceptíveis a deslocação porque eles são adsorvidos fracamente. SYMONS (1972), por exemplo, mostrou uma dessorção substancial de clorofórmio e 1,2-dicloroetileno devido a uma queda na concentração afluente.

3.3.3 – AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE DE ADSORÇÃO

A capacidade de adsorção do carvão pode ser analisada por meio dos seguintes ensaios, conforme descrição a seguir:

- *Número de Iodo*: o número de iodo é definido como a quantidade de Iodo em solução aquosa adsorvida por uma determinada massa, cerca de 1,0 g, de carbono ativado pulverizado, sob condições específicas determinadas pela norma (ABNT-MB3410 (1990)). Quanto maior o número de iodo, maior capacidade de adsorção do carvão ativado. Segundo padrão da AWWA (1990) este número deve ser superior a 500 para o CAP;
- *Número de Fenol*: o número de fenol é definido como a quantidade, em gramas, de carvão ativado necessária para reduzir a concentração de fenol em solução de 200 para 20 mg/L. Fornece subsídios para avaliação da remoção de gosto e odor, associado a compostos fenólicos, das águas. Quanto menor o número de fenol, maior é a capacidade de adsorção do carvão ativado;

3.3.4 – EQUILÍBRIO NA ADSORÇÃO

A adsorção de moléculas pode ser representada como uma reação química do tipo ($A + B \leftrightarrow A \cdot B$) onde A representa o adsorvato, B o adsorvente, e A.B os compostos adsorvidos. Os adsorvatos são adsorvidos na superfície devido a ação de vários tipos de forças químicas como pontes de hidrogênio e interações dipolo-dipolo, e forças de van der Waals. Se a reação é reversível, como ocorre em muitos compostos adsorvidos em carvão ativado, as moléculas continuam a se acumular na superfície até que as taxas de reações nos dois sentidos sejam igualadas. Quando surge essa condição, alcançou-se o equilíbrio e não ocorrerá acumulação adicional.

3.3.5 – ISOTERMAS DE ADSORÇÃO

Uma das mais importantes características de um adsorvente é a quantidade de adsorvato que ele pode acumular. Partindo-se do pressuposto de que a temperatura permanece constante, para cada par de valores obtidos de concentração do adsorvato em equilíbrio na fase líquida com uma dada fase sólida, matematicamente, pode-se escrever que:

$$q_e = f(C_e) \quad (1)$$

em que q_e é a quantidade de adsorvato por unidade adsorvente (MM^{-1}) e C_e é a concentração do adsorvato no equilíbrio na solução (ML^{-3}).

A relação matemática entre q_e e C_e é conhecida por isoterma de adsorção, sendo denominada de isoterma pelo fato de a temperatura ao longo do ensaio de adsorção ser mantida constante.

Existem na literatura diversos modelos matemáticos para descrever as isotermas de adsorção. Alguns modelos são mais sofisticados do que outros, alguns são empíricos enquanto outros são de natureza teórica.

As duas equações mais comuns para descrever essa relação entre q_e e C_e são a de Freundlich e a de Langmuir. Também podem ser citadas: Isoterma de Toth, Isoterma de Radke e Prausnitz, e Isoterma de Brunauer-Emmett-Teller.

3.3.6 – ISOTERMA DE FREUNDLICH

A equação de Freundlich é uma equação muito útil porque, para certos valores experimentais, ela produz a melhor aderência entre os valores de concentração do adsorvato na fase líquida e na fase sólida. A literatura tem indicado que a grande maioria dos resultados experimentais obtidos têm sido muito bem representados, matematicamente, pela isoterma de Freundlich (AWWA, 1990). Esta equação tem a forma:

$$q_e = K \cdot C_e^{\frac{1}{n}} \quad (2)$$

ou:

$$\log q_e = \log K + \frac{1}{n} \log C_e \quad (3)$$

O parâmetro q_e (massa de adsorvato/massa de adsorvente ou moles de adsorvato/moles de adsorvente) e C_e (massa/volume ou moles/volume) são as concentrações de equilíbrio superficial e da solução, respectivamente. Os termos K e n são coeficientes que dependem das características do adsorvente e do adsorvato, e as unidades de K são determinadas pelas unidades de q_e e C_e . Apesar da equação de Freundlich ter sido desenvolvida empiricamente, uma teoria de adsorção que leva à equação de Freundlich foi posteriormente desenvolvida por HALSEY et al. (1947).

A constante K está relacionada inicialmente à capacidade de adsorção do adsorvato pelo adsorvente, enquanto que n depende das características da adsorção. Para valores fixos de C_e e $1/n$, q_e será tanto maior quanto maior for K e, para valores fixos de K e C_e , a ligação da adsorção será mais forte quanto menor o valor de $1/n$. Para valores de $1/n$ muito pequenos, a capacidade de adsorção independe de C_e e, a isoterma se aproxima da horizontal, com q_e aproximadamente constante, sendo a isoterma denominada irreversível. Se o valor de $1/n$ for elevado, a ligação na adsorção será fraca, com q_e variando significativamente para pequenas variações de C_e . Na saturação, q_e se torna constante, independentemente do aumento de C_e .

Na saturação, q_e se torna constante, independentemente do aumento de C_e , e a equação de Freundlich não pode mais ser aplicada. Também, não existe segurança de que os dados experimentais de adsorção apresentarão aderência com a equação de Freundlich para todas as concentrações abaixo da saturação; assim, muito cuidado deve ser tomado na utilização da equação para valores de concentração não testados anteriormente.

3.3.7 – ISOTERMA DE LANGMUIR

A isoterma de Langmuir foi originalmente proposta visando o estudo da adsorção de gases em superfícies sólidas, tendo um sólido embasamento teórico. As hipóteses principais envolvidas em sua formulação são as seguintes (LANGMUIR, 1918):

- ✓ os sítios de adsorção, presentes no adsorvente, encontram-se disponíveis e com o mesmo nível de energia;
- ✓ o processo de adsorção é reversível;
- ✓ o equilíbrio é atingido quando o número de moléculas adsorvidas é igual ao número de moléculas dessorvidas, em um mesmo intervalo de tempo.

A equação tem a seguinte forma:

$$q_e = \frac{q_{\max} b C_e}{1 + b C_e} \quad (4)$$

em que b e q_{\max} : constantes, q_e e C_e : definidos anteriormente. A constante q_{\max} corresponde à concentração superficial em uma camada única de recobrimento e representa o valor máximo que q_e pode alcançar com o aumento de C_e . A constante b está relacionada com a energia de adsorção e aumenta com o acréscimo da força das ligações de adsorção. Os valores de q_{\max} e b podem ser determinados a partir de um gráfico de $1/q_e$ versus $1/C_e$ de acordo com a forma linearizada da equação:

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{q_{\max} b C_e} + \frac{1}{q_{\max}} \quad (5)$$

OU

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_{\max} b} + \frac{C_e}{q_{\max}} \quad (6)$$

A equação de Langmuir não descreve sempre os dados experimentais com a mesma precisão da equação de Freundlich. Segundo SONTHEIMER et. al. (1988), os valores determinados experimentalmente de q_{\max} e b não são sempre constantes ao longo da variação de concentração de interesse, possivelmente por causa da natureza heterogênea da superfície do adsorvente (uma superfície homogênea é assumida no modelo desenvolvido), interação entre moléculas adsorvidas (toda interação é negligenciada no desenvolvimento do modelo) e outros fatores.

3.3.8 – FATORES QUE INFLUEM NO EQUILÍBRIO

As principais características do adsorvente que afetam as isotermas de adsorção incluem área superficial, distribuição de tamanho de poros e superfície química. A máxima capacidade de adsorção é proporcional à quantidade de área superficial com poros que são acessíveis ao adsorvato. As áreas superficiais variam de poucas centenas a mais de 1500 m²/g, mas nem toda área é acessível para adsorvatos aquosos. A variação da distribuição de tamanhos de poros numa seleção arbitrária de carvões ativados granulares é mostrada na Figura 3.2. Um volume relativamente grande de microporos (poros menores que 2 nm de diâmetro) geralmente corresponde à grande área superficial e elevada capacidade de adsorção para moléculas pequenas, enquanto um grande volume de macroporos ($d > 50$ nm) é usualmente relacionada à capacidade de adsorver grandes moléculas. As isotermas de adsorção do ácido fúlvico, na Figura 3.3, são para os mesmos carvões ativados cujas distribuições de tamanho de poros são mostradas na Figura 3.2. Nota-se que os carvões ativados que possuem volume relativamente pequeno de macroporos também tem capacidade relativamente baixa para a grande molécula de ácido

fúlvico. LEE et al. (1981) demonstraram a importância da estrutura interna do adsorvente na capacidade de adsorção de um determinado adsorvato.

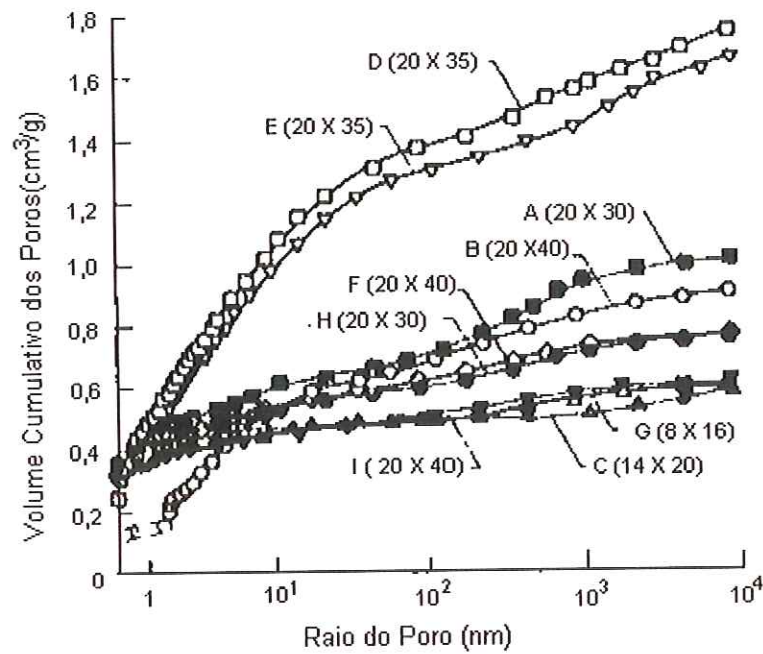


Figura 3.2 - Distribuição do volume dos poros para diferentes tipos de carvão ativado granular
Fonte: AWWA (1990)

Todos os parâmetros passíveis de caracterizarem a estrutura de um determinado carvão ativado devem ser analisados em conjunto e não isoladamente. Também deve ser enfatizado que uma determinada estrutura interna, de um dado carvão ativado, pode produzir resultados satisfatórios para um determinado adsorvato e para outros não. A sua aplicabilidade será função das características do adsorvente e adsorvato e, evidentemente, do solvente.

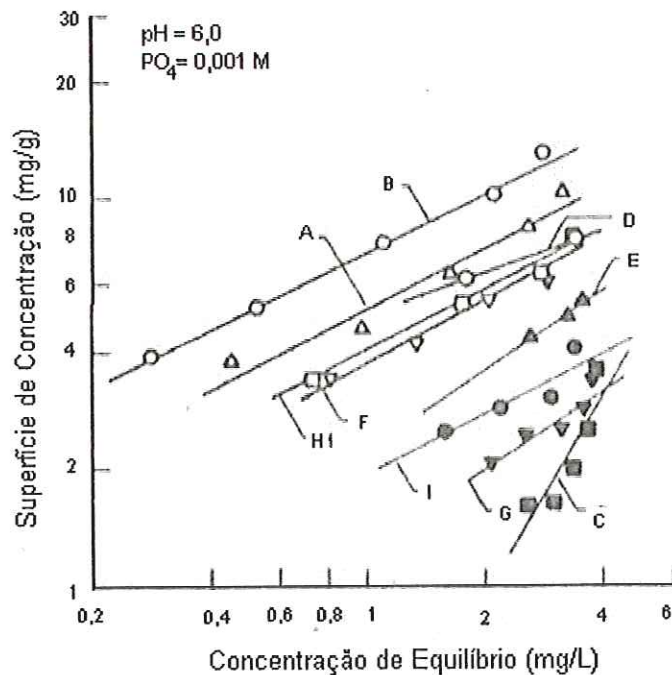


Figura 3.3 - Isotermas de adsorção para um determinado ácido fúlvico
Fonte: AWWA (1990)

Segundo SNOEYINK (1990), para as isotermas indicadas na Figura 3.3, caso o adsorvato fosse uma molécula com diferentes características, por exemplo, de menor tamanho molecular do que o ácido fúlvico utilizado nos ensaios de adsorção, os resultados, muito provavelmente, seriam completamente diferentes dos apresentados. Tendo os carvões E e D maior volume de poros, muito provavelmente estes teriam apresentado maior capacidade de adsorção.

A superfície química do carvão ativado e as propriedades do adsorvato também podem afetar a adsorção. Enquanto as características químicas do adsorvato são ditadas primariamente pela sua estrutura molecular e interação com o solvente, as propriedades químicas superficiais do adsorvente são definidas pela natureza da matéria prima utilizada e das características do seu processo de fabricação (ativação física ou química, temperatura e tempo de ativação). A importância das características químicas superficiais de um dado carvão ativado foi, durante alguns anos, motivo de inúmeras discussões entre alguns pesquisadores (SUFFET et al., 1980).

Uma das primeiras evidências de que a superfície de carvões ativados são eletricamente carregadas, foi apresentada por WEBER et al. (1964), após efetuar

ensaios de adsorção de determinados compostos orgânicos sulfonados e notar um decréscimo da capacidade de adsorção de diversos materiais adsorventes quando da diminuição do pH. A partir dos resultados experimentais obtidos, foi postulado que a superfície do carvão ativado apresentava-se carregada tanto positiva como negativamente.

A quantidade adsorvida de uma molécula é uma função da afinidade dela por água quando comparada com a afinidade dela pelo adsorvente. Por exemplo, a adsorção em carvão ativado granular geralmente aumenta com a diminuição da solubilidade do adsorvente. A afinidade de ácidos orgânicos fracos e bases com carvão ativado é uma importante função do pH. Quando o pH está numa faixa em que a molécula está numa forma neutra, a capacidade de adsorção é relativamente elevada.

As isotermas de adsorção podem ser determinadas numa mistura heterogênea de compostos usando parâmetros tais como: carbono orgânico total (COT), carbono orgânico dissolvido (COD), demanda química de oxigênio (DQO), halogênios orgânicos dissolvidos (HOD), absorvância de radiação ultravioleta, e fluorescência como uma medida da concentração total de substâncias que estão presentes. A mistura de componentes então é tratada como um composto simples nas equações de isotermas. Como pode haver uma grande variação de afinidade dos compostos da mistura pelo adsorvente, a forma da isoterma irá depender da quantidade relativa de cada composto na mistura. Por exemplo, isotermas com a forma mostrada na Figura 3.4 são esperadas se alguns dos componentes são não-adsorvíveis, e alguns são mais fortemente adsorvidos que os outros. Os compostos fortemente adsorvíveis podem ser removidos com pequenas doses de adsorvente e produzem grande valores de q_e . Ao contrário, os compostos fracamente adsorvidos podem somente ser adsorvidos com elevadas doses de adsorvente e produzem valores relativamente baixos de q_e . Os compostos não-adsorvíveis produzem uma isoterma vertical para baixos valores de C_e . Ao contrário das isotermas de soluto simples, a isoterma para uma mistura heterogênea de compostos será função da concentração inicial e da fração da mistura que é adsorvida.

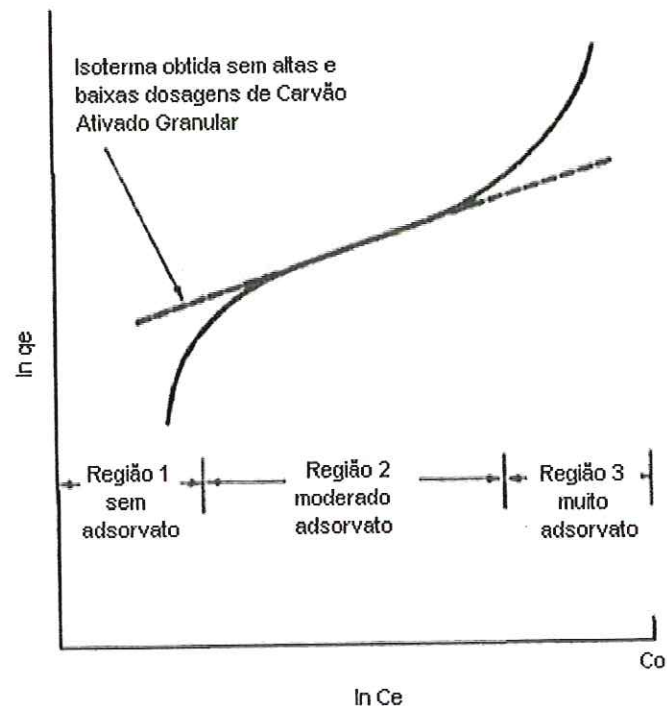


Figura 3.4 - Isoterma não linear para uma mistura heterogênea de compostos orgânicos
Fonte: AWWA (1990)

3.3.9 – ADSORÇÃO COMPETITIVA

Adsorção competitiva é importante no tratamento de águas de abastecimento porque muitos compostos que devem ser adsorvidos existem em solução com outros compostos adsorvíveis. A quantidade de carvão ativado, ou outro adsorvente requerido para remover uma certa quantidade de compostos de interesse de uma mistura de compostos adsorvíveis, é maior que aquela relativa a adsorção se ela ocorresse sem competição, porque parte das superfícies do adsorvente é utilizada pelas substâncias competidoras.

O grau de competição no carvão ativado depende sobretudo da força de adsorção das moléculas competidoras, da concentração dessas moléculas, e do tipo de carvão ativado. Alguns exemplos ilustram a magnitude do efeito da competição. JAIN e SNOEYINK (1973) mostraram que quando a concentração no equilíbrio de *p*-bromofenol (PBP) aumenta de 10^{-4} para 10^{-3} M (17 para 173 mg/l), a quantidade de *p*-nitrofenol (PNP) adsorvido na concentração de equilíbrio de $3,5 \times 10^{-5}$ cai em torno de 30 % (ver Figura 3.5).

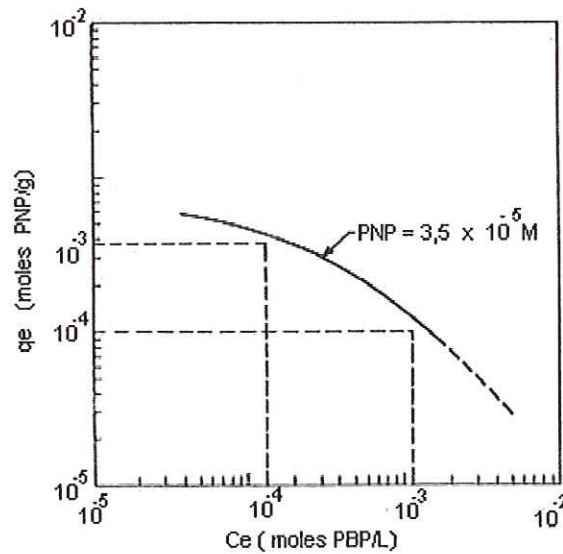


Figura 3.5 - Adsorção de *p*-nitrofenol como uma função da concentração de *p*-bromofenol
Fonte: JAIN e SNOEYINK (1973)

Um grande número de modelos tem sido utilizado para descrever a adsorção competitiva. Um modelo comum para descrever o equilíbrio em sistemas com vários adsorvatos é o modelo de Langmuir para adsorção competitiva, o qual foi primeiramente desenvolvido por BUTLER e OCKRENT (1930). Este modelo é baseado nas mesmas hipóteses do modelo de Langmuir para adsorvatos simples. Assumindo, como fez Langmuir, que a taxa de adsorção de uma espécie no equilíbrio é igual a taxa de dessorção, tem se:

$$q_{e,1} = \frac{q_{\max,1} b_1 C_{e,1}}{1 + \sum_i b_i C_{e,i}} \quad (7)$$

$$q_{e,2} = \frac{q_{\max,2} b_2 C_{e,2}}{1 + \sum_i b_i C_{e,i}} \quad (8)$$

em que:

$q_{e,1}$ e $q_{e,2}$: quantidade de solutos 1 e 2 adsorvidos por unidade de peso, ou por unidade de área superficial, do adsorvente nas concentrações de equilíbrio $C_{e,1}$ e $C_{e,2}$, respectivamente.

$q_{max,1}$ e $q_{max,2}$: valores máximos de $q_{e,1}$ e $q_{e,2}$, respectivamente, que são obtidos da análise da isoterma de soluto simples e que correspondem à cobertura em camada única do adsorvente.

b_1 e b_2 = constantes que são função da energia de adsorção dos solutos 1 e 2, respectivamente, e que são obtidos da análise da isoterma de soluto simples.

Embora este modelo seja comumente utilizado, ele não fornece sempre bons resultados, especialmente para adsorventes porosos. JAIN e SNOEYINK (1973) apresentaram uma modificação para levar em conta a fração de adsorção que ocorre sem competição. Isto pode ocorrer se os adsorvatos têm tamanhos diferentes e somente o menor deles pode penetrar nos menores poros.

3.4 – CINÉTICA DA ADSORÇÃO

3.4.1 - MECANISMOS DE TRANSPORTE

Segundo FERREIRA FILHO (1996), a remoção de compostos orgânicos por adsorção física envolve uma série de etapas e cada qual pode afetar a taxa de remoção:

- a) Transporte das moléculas do adsorvato da fase líquida para a camada limitante que circunda o adsorvente. O transporte ocorre por difusão se o adsorvente está suspenso em água parada, como num tanque de sedimentação, ou por mistura turbulenta, como ocorre durante o escoamento turbulento através de uma camada de carvão ativado granular, ou quando o carvão ativado pulverizado está sendo agitado numa mistura rápida ou flocculador;
- b) Transporte por processo de difusão molecular, do adsorvato da camada limite até a superfície externa do adsorvente;
- c) Após o adsorvato ter ultrapassado a camada limite que circunda o adsorvente, o seu transporte passa a ocorrer em seu interior. Este transporte intraparticular pode

se dar através de difusão molecular, ao longo dos vazios internos da partícula como, também, por difusão através da superfície interna do adsorvente;

- d) Após o transporte para um sítio de adsorção vazio, é efetuada a ligação entre o adsorvente e o adsorvato. Como, via de regra, o processo de adsorção física é muito rápido, alguma das etapas citadas anteriormente será a etapa limitante do processo. Se, ao contrário, o mecanismo de adsorção for químico, ou seja, envolver uma reação química entre o adsorvente e o adsorvato, esta pode ser lenta o suficiente para ser a etapa limitante do processo.

As etapas são ilustradas na Figura 3.6:

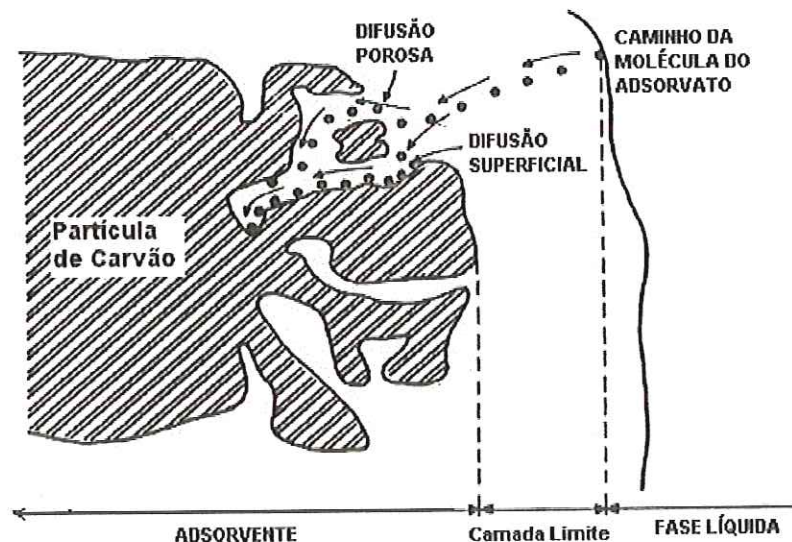


Figura 3.6 - Mecanismos de transporte envolvidos no processo de adsorção
Fonte: MONTGOMERY² et al. apud FERREIRA FILHO(1996)

Tanto o tamanho molecular quanto o tamanho das partículas do adsorvente tem importantes efeitos na taxa de adsorção. Quanto menor o tamanho da partícula de carvão ativado, mais rápido o equilíbrio é alcançado.

² MONTGOMERY, J. Water Treatment: Principles and Design John Wiley & Sons. New York, USA, 1985.

3.4.2 - ZONA DE TRANSFERÊNCIA DE MASSA

A região da coluna de adsorção na qual a adsorção está ocorrendo, a zona de transferência de massa (ZTM), é mostrada na Figura 3.7a. O carvão ativado atrás da ZTM está completamente saturado com $C_e = C_0$, e a quantidade de adsorvato adsorvida por unidade de massa de carvão ativado granular é $(q_e)_0$. O carvão ativado na frente da ZTM não foi exposto ao adsorvato, assim a concentração da solução e q_e valem zero. Dentro da ZTM, o grau de saturação com adsorvato varia de 100 % ($q=[q_e]_0$) a zero. O comprimento da ZTM, L_{ZTM} , depende da taxa de adsorção e da taxa de escoamento da solução. Qualquer variação que cause um aumento da taxa de adsorção, como um tamanho de partícula de carvão menor, aumento da temperatura, um coeficiente elevado de difusão do adsorvato, e aumento da força de adsorção do adsorvato, diminuirá o comprimento da ZTM. Em algumas condições, L_{ZTM} será reduzida o suficiente para poder ser assumida igual a zero, produzindo a condição mostrada na Figura 3-7b. Se L_{ZTM} é negligenciada, a análise do processo de adsorção é grandemente simplificada.

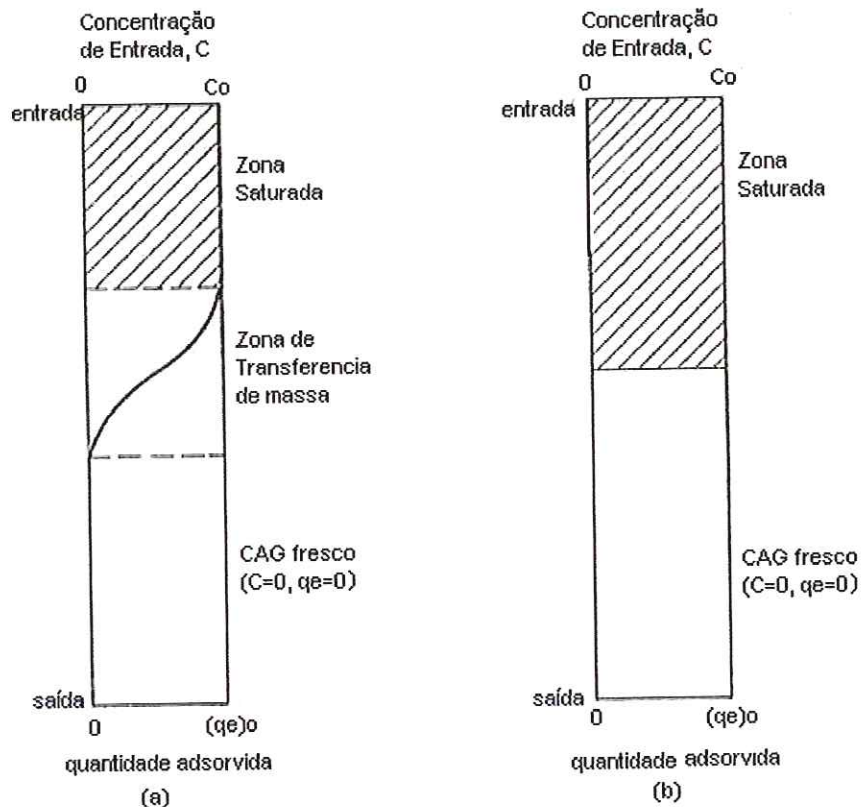


Figura 3.7 - Definição da zona de transferência de massa em meios adsorvedores
 (a) coluna com ZTM estabelecida ; (b) coluna sem ZTM
 Fonte: AWWA (1990)

3.4.3 - CURVAS DE EXAUSTÃO

A concentração de exaustão C_B para uma coluna é definida como a concentração máxima aceitável no efluente. Quando a concentração efluente atinge esse valor, o carvão deve ser trocado. A altura crítica da coluna $L_{CRÍTICO}$ é a profundidade que leva ao imediato aparecimento de uma concentração igual a C_B quando a coluna é iniciada.

A altura crítica, a taxa de escoamento Q , e a área A da coluna podem ser utilizadas para calcular o tempo de contato mínimo de leito vazio:

$$\frac{L_{crítico}}{\frac{Q}{A}} = TCLV_{\min} \quad (9)$$

A curva de exaustão é um gráfico que relaciona a concentração efluente da coluna em função tanto do volume tratado ou do tempo de tratamento. Uma curva de exaustão para um composto adsorvível é mostrada na Figura 3.8. A forma da curva é afetada pelos mesmos fatores que afetam o comprimento da ZTM, da mesma maneira. Qualquer perturbação que cause um aumento da taxa de adsorção aumentará a inclinação da curva; a curva de exaustão será vertical se $L_{ZTM} = 0$. A *capacidade de exaustão*, definida como a massa de adsorvato removida pelo adsorvente na saturação, e o *grau de utilização da coluna*, definido como a massa adsorvida na exaustão dividida pela massa adsorvida na saturação completa na concentração afluente, como mostrado na Figura 3.8, aumentam com o aumento da taxa de adsorção.

A curva de saturação pode ser usada para determinar a *taxa de utilização de carvão* (CUR) ativado - a massa de carvão ativado requerida por unidade de volume de água tratada:

$$CUR \left(\frac{\text{massa}}{\text{volume}} \right) = \frac{\text{massa de carvão ativado na coluna}}{\text{volume tratado para exaustão}} \quad (10)$$

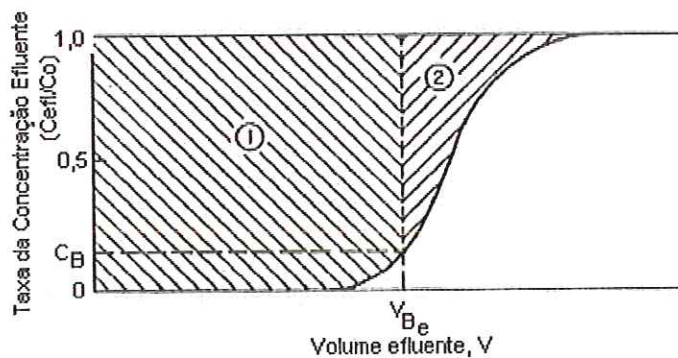


Figura 3.8 - Curva de exaustão de uma coluna de adsorção
Fonte: AWWA (1990)

3.5 – AVALIAÇÃO DE CARVÃO ATIVADO

Segundo ASTM STANDARDS (1989) , os carvões ativados são avaliados por suas propriedades físicas e através de testes empíricos da sua capacidade de adsorção. Dentre os parâmetros mais comuns, destacam-se:

a) **Teor de Cinzas:** as cinzas são dependentes do tipo de matéria-prima e do processo de fabricação. Compreende o resíduo após a ignição da substância, sob condições específicas.

b) **Umidade ou Perda por Secagem:** é determinada com o propósito de produção e embarque. É o resultado da redução de peso quando a substância é aquecida, sob condições específicas.

c) **pH :** o pH depende da matéria-prima e processo de fabricação. É obtido pela análise do extrato aquoso.

d) **Número de Dureza:** é um termo referente à resistência mecânica à decomposição das partículas medidas por testes específicos. É uma forma de avaliar a resistência do carvão quando submetido ao desgaste de bolas de aço por atrito, sob agitação em um aparelho vibratório denominado Ro-tap. Permite comparar lotes de carbono ativados entre si admite-se que o maior valor de Dureza expressa um material mais resistente sob aquelas condições que foram submetidas.

e) **Massa Específica Aparente :** é a relação de massa por unidade de volume do carvão ativado, incluindo o volume de poros e espaços interpartículas.

f) **Número de Iodo :** é definido como as miligramas de Iodo de uma solução aquosa, adsorvidas por uma grama de carvão ativado, sob condições específicas determinadas pelo método. Fornece um índice de porosidade relativo a pequenos poros.

g) **Área Superficial:** é a área superficial do carvão ativado, calculada pela equação de BET (Brunauer, Emmett, Teller), pelos dados de adsorção e desorção de nitrogênio, sob condições específicas. É expressa, comumente, em m^2/g de carvão ativado.

h) **Volume de Poros:** é o volume de poros na unidade de peso do adsorvente. Pode ser obtido através da adsorção de mercúrio nos poros sob alta pressão. É expresso, comumente em cm^3/g C.A .

i) **Capacidade de Adsorção:** é a quantidade de um determinado componente adsorvido de um fluido. Pode ser medida através de testes com o fluido a purificar, obtendo-se curvas de adsorção par aquelas condições específicas.

3.6 – PROPRIEDADES FÍSICAS

3.6.1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS

Tendo em vista a existência de algumas marcas comerciais de carvão ativado granular ou pulverizado, é de fundamental importância o conhecimento de algumas características físicas. A determinação dessas características propiciam melhor utilização do carvão ativado no que concerne à capacidade de adsorção, fluidificação e expansão quando lavado, etc.

3.6.2 - DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA

A distribuição granulométrica é uma forma de expressar o tamanho dos grãos do carvão ativado. Deve possuir tamanho de partículas que permita o melhor desempenho de adsorção a ao mesmo tempo boas condições de filtração. Nos Carvões Pulverizados normalmente é expresso como percentual em peso passante por uma malha pré determinada (como malha 325 ou 400 ASTM). Nos Carvões Granulados, define-se normalmente o tamanho nominal quando se demonstra as duas malhas limitantes da distribuição granulométrica, ou se demonstra diretamente a

distribuição percentual em peso retida ou passante em cada malha daquela distribuição.

3.6.3 - MASSA ESPECÍFICA DO MATERIAL

A massa específica do material é dada pela relação entre a massa de carvão ativado seco e o volume de material somente, não incluindo seus vazios internos.

$$\rho_m = \frac{\text{massa de carvão ativado seco}}{\text{volume de material}} \quad (\text{ML}^{-3}) \quad (11)$$

3.6.4 - MASSA ESPECÍFICA DA PARTÍCULA

A massa específica da partícula é definida como sendo a relação entre a massa de carvão ativado seco e o volume da partícula, o que inclui o volume de material mais seus vazios internos.

$$\rho_{pc} = \frac{\text{massa de carvão ativado seco}}{\text{volume total da partícula}} \quad (\text{ML}^{-3}) \quad (12)$$

Na tabela 3.1 são apresentados os principais materiais granulares usados como meio filtrante e respectivas massas específicas.

Tabela 3.1 – Massa Específica dos Materiais Filtrantes Usuais

Material	Massa Específica(ρ_{pc}) (kg/m^3)
Areia	2650 – 2670
Antracito	1400 – 1700
Carvão ativado granular em filtro	1300 – 1500
Granada	4100 – 4500

Fonte: DI BERNARDO(1993)

3.6.5 - POROSIDADE INTERNA

A porosidade interna é dada como sendo a relação entre o volume de vazios internos da partícula e o seu volume total.

$$\varepsilon_p = \frac{\text{volume dos vazios internos}}{\text{volume total da partícula}} (\%) \quad (13)$$

3.6.6 - MASSA ESPECÍFICA EM FILTRO

A determinação da massa específica do material é fundamental no cálculo de perda de carga, fluidificação, expansão do meio filtrante e também é fator determinante na velocidade ascensional da água para fluidificar o meio filtrante. A técnica mais adequada para a determinação da massa específica é a do picnômetro, muito utilizada na Mecânica dos Solos, devido sua simplicidade e rapidez de execução. É dada pela relação entre a massa de material acrescido da massa de água presente em seus vazios internos e o volume da partícula.

$$\rho_{pf} = \frac{\text{massa de material} + \text{massa de água}}{\text{volume total da partícula}} (\%) \quad (14)$$

3.6.7 - MASSA ESPECÍFICA APARENTE SECA

É dada pela relação entre a massa de material seco e o volume total ocupado por um conjunto de partículas.

$$\rho_{aps} = \frac{\text{massa de material seco}}{\text{volume das partículas} + \text{vazios intergranulares}} (\%) \quad (15)$$

3.6.8 - MASSA ESPECÍFICA APARENTE EM FILTRO

É dada pela relação entre a massa de material mais a água contida em seus vazios internos e o volume total ocupado por um conjunto de partículas, ou seja, o volume de material mais o volume dos seus vazios internos mais volume intergranular.

$$\rho_{app} = \frac{\text{massa de material mais a massa de água}}{\text{volume das partículas mais os vazios intergranulares}} \quad (\text{ML}^{-3}) \quad (16)$$

3.6.9 - POROSIDADE

É definida como sendo a relação entre o volume de vazios intergranulares e o volume total ocupado pelo conjunto de partículas.

$$\varepsilon_0 = \frac{\text{volume de vazios intergranulares}}{\text{volume total ocupado pelo material}} \quad (\%) \quad (17)$$

A porosidade é um parâmetro muito importante na determinação da velocidade de água requerida para lavagem do meio filtrante, perda de carga no meio filtrante fixo e na capacidade do meio filtrante na retenção de impurezas.

De acordo com AWWA(1990), a porosidade em meio filtrante fixo é determinada colocando-se uma amostra de material filtrante de massa e massa específica conhecidas em uma coluna transparente com diâmetro interno conhecido. Com a altura da camada de material filtrante pode-se determinar o volume total ocupado pelo material. O volume dos grãos é o total da massa de material filtrante dividido pela sua respectiva massa específica. O volume de vazios é igual ao volume total ocupado pelo material menos o volume dos grãos. A porosidade do meio filtrante fixo é substancialmente afetada pela compactação do material granular. Se o material é colocado no filtro, permitindo que os grãos sedimentem livremente, sem compactação, a maior porosidade será obtida, que é a porosidade do meio filtrante expandido, podendo ser 5% maior que a porosidade medida depois da compactação do material.

3.8 – CARVÃO ATIVADO EXISTENTE NO MERCADO

Para o melhor entendimento e análise da instalação de filtração desenvolvida, foi realizada uma pesquisa nos supermercados da cidade de São Carlos – SP à procura de componentes para filtros por gravidade que utilizassem carvão ativado impregnado com prata. Foi encontrado apenas um que continha os dizeres: “Com carvão ativado e prata”, e no verso da embalagem: “Sua micro porosidade proporciona uma filtragem equilibrada, oferecendo água de excelente qualidade, leve e suave, comparada somente com as melhores águas naturais...”. Sendo assim, concluiu-se que a prata existente estava provavelmente impregnada na cerâmica e não no carvão ativado, como proposto neste trabalho de pesquisa.

3.9 – CARVÃO ATIVADO EM UNIDADES DE FILTRAÇÃO

O carvão ativado, quando usado em filtros adsorvedores, objetiva a filtração e a adsorção de compostos orgânicos (AWWA, 1990). A principal aplicação é a remoção de sabor e odor onde experiências em escala real demonstraram remoção no período de 1 a 5 anos antes que o CAG tivesse de ser regenerado (GRAESE et. al., 1987). Entretanto, a competição com altas concentrações de compostos orgânicos pode diminuir esta duração.

Segundo AWWA (1990), para se obter maiores carreiras de filtração e períodos mais longos entre regenerações do CAG, os filtros adsorvedores devem ser projetados com altura do meio filtrante de 1,2 metros de CAG não refinado (tamanho efetivo de 1,3 mm) com baixo coeficiente de uniformidade (1,4).

Quando objetiva-se baixa turbidez da água filtrada, pode ser utilizado uma pequena camada de areia fina. Entretanto, o uso de areia e CAG como meios filtrantes causa dificuldades na regeneração do CAG. A remoção do CAG do filtro adsorvedor livre da areia ou a separação da areia após a remoção é bastante difícil e areia danifica a fornalha de regeneração.

Segundo GRAESE et. al.(1987), bactérias proliferam em meio filtrante de CAG a menos que a água efluente ao filtro possua cloro. Esta atividade bacteriana tem efeitos positivos e negativos. Os benefícios são a redução do conteúdo orgânico e desse modo a redução da atividade microbiológica no sistema de distribuição de

água. Em contra partida, o crescimento bacteriano diminui a carreira de filtração e a desinfecção é requerida após o filtro adsorvedor. Grãos finos de carvão foram detectados no efluente dos filtros adsorvedores e bactérias fixas a estes grão finos de carvão são difíceis de serem eliminadas pelo cloro. O CAG é mais leve que o antracito, mas o atrito do CAG em filtros adsorvedores não é excessivo, perdendo-se de 1 a 6 % ao ano.

O carvão ativado granular também é utilizado como meio filtrante de filtros biológicos e retém tanto partículas biológicas (bactérias) quanto não biológicas (argila e coagulante). Comparadas com partículas não biológicas, as bactérias possuem características morfológicas diversas e diferem consideravelmente seu movimento por causa das diferentes propriedades da célula (ex.: mobilidade eletroforética, hidrofobicidade, tamanho da célula e a presença de apêndices ligados à célula). A atividade metabólica da bactéria também pode alterar as características químicas da superfície dos grãos de CAG. O comportamento de aderência de alguns microrganismos à superfície do CAG pode ser explicado em termos da química coloidal, mas o fato de microrganismos possuírem características biológicas é responsável pela aderência e formação de biofilme em partícula de CAG. Bactérias presentes na superfície e que estão no meio aquoso possuem estados fisiológicos diferentes e isto contribui para o maior grau de fixação destas à superfície do CAG. Na Figura 3.9 é mostrada uma hipotética localização dos microrganismos e das partículas de argila em meio filtrante de CAG em filtros biológicos. Há a maior afinidade dos microrganismos em relação às partículas de argila na aderência aos grão de carvão ativado.

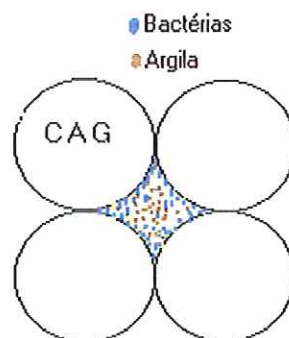


Figura 3.9 - Localização Hipotética de microrganismos e de partículas de argila em meio filtrante de CAG utilizado em filtro biológico
Fonte: AHMAD et. al.. (1998)

Segundo AHMAD et. al.(1998), a hidrofobicidade bacteriana é um fator importante no estudo da fixação e despreendimento de microrganismos à superfície dos grãos de CAG. A hidrofobicidade é o meio pelo qual as bactérias são atraídas para a superfície do grão e a força de atração hidrofóbica pode ser até mais forte que a de ligação de van der Waals.

3.9 USO DE PRATA

3.9.1 – CARACTERÍSTICAS GERAIS DA PRATA

Segundo OHLWEILER (1971), a prata é um metal nobre, branco, brilhante, de dureza intermediária entre o cobre e o ouro e, depois do ouro, o mais dútil dos metais. É o melhor condutor do calor e de eletricidade.

A prata cristaliza com rede cúbica de face centrada. Ela forma uma série contínua de cristais cúbicos com ouro e paládio; é que os três metais possuem a mesma estrutura e, além disso, as dimensões das células unitárias variam muito pouco (Ag, $a = 4,077 \text{ \AA}$; Au, $a=4,070 \text{ \AA}$; Pd, $a=3,88\text{\AA}$). A miscibilidade com cobre, no estado sólido, é muito limitada; o cobre tem a mesma estrutura reticular, mas a constante da célula é menor ($a = 3,61 \text{ \AA}$) No estado líquido, a prata é completamente miscível com cobre e numerosos metais. A miscibilidade da prata com cromo, manganês e níquel, nos estados sólido e líquido, é muito limitada. A prata não é miscível com ferro e cobalto. A prata forma amálgama com mercúrio.

De acordo com seu caráter nobre, a prata em forma compacta não se une diretamente com o oxigênio. É certo que a prata fundida dissolve quantidades consideráveis de oxigênio; a maior parte do oxigênio é expulsa com a solidificação do metal. O ozônio ataca a prata, especialmente com aquecimento moderado; o metal enegrece devido à formação de óxido de prata. A prata tem grande afinidade pelo enxofre. O sulfeto de hidrogênio enegrece a prata com formação de sulfeto de prata. Os halogênios se combinam com a prata, com certa extensão, mesmo à temperatura ordinária.

O potencial padrão do sistema $\text{Ag} \leftrightarrow \text{Ag}^+ + e$ é $\varepsilon^\circ = -0,7991 \text{ V}$. De acordo com isto, a prata não é atacada por soluções aquosas de ácidos não oxidantes em ausência de ar. Em contato com água contendo ar dissolvido, a prata dissolve-se em proporção diminuta segundo a equação: $2\text{Ag} + \text{H}_2\text{O} + \frac{1}{2}\text{O}_2 \rightarrow 2\text{Ag}^+ + 2\text{OH}^-$.

A prata metálica é usada na cunhagem de moedas, em joalheria e na confecção de aparelhos químicos, instrumentos médicos, etc. Em geral, ela é, para esses fins, ligada a outros metais, principalmente cobre: por exemplo, a prata comercialmente encontrada em joalherias costuma ter 80% de prata. Grandes quantidades de prata são usadas na indústria fotográfica. A prata coloidal, por suas propriedades bactericidas, é usada com fins terapêuticos.

3.9.2 COMPOSTOS DE PRATA

Para OHLWEILER (1971), os compostos de prata derivam quase todos do estado unipositivo. O íon de prata é estável em solução aquosa. Os compostos de prata apresentam uma acentuada tendência para a formação de complexos. Muitos compostos de prata têm propriedades antissépticas, mas somente alguns são usados clinicamente. Os sais de prata solúveis e altamente ionizáveis têm ações adstringentes e cáusticas também.

O íon de prata se combina com sulfidrila, carboxila, fosfato, amina e outros grupos químicos importantes biologicamente. Tais interações, ao envolver proteínas, alteram suas propriedades físicas, e muitas vezes causam sua precipitação. Esta é a base das ações adstringentes e cáusticas dos íons da prata e pode explicar, em parte, suas ações antibacterianas. Contudo, vários complexos de prata fracamente solúveis, que não fornecem íons suficientes para a precipitação de proteínas, são bons antissépticos. Os íons de prata agem na superfície da célula bacteriana, causando alterações drásticas na parede celular e na membrana plasmática. Quando se aplicam soluções de sais de prata inorgânicos ao tecido, eles exercem efeito germicida imediato. Um fenômeno bacteriológico interessante é o fato de que água destilada se torna altamente bactericida após o contato com prata metálica.

3.9.3 CARVÃO ATIVADO IMPREGNADO COM PRATA

O carvão ativado impregnado com prata (CAIP) é um produto recente no Brasil e no exterior, sendo assim existem poucos trabalhos a respeito deste material. Em pesquisa realizada utilizando-se o Programa Biblioteca Eletrônica – ProBE –, onde estão catalogados 856.962 (fevereiro/2000) artigos sobre trabalhos realizados no exterior, nenhum trabalho a respeito da utilização do CAIP em tratamento de águas de abastecimento foi encontrado. No aspecto químico da impregnação, CH.Y.I. et. al.(1997) estudaram maneiras impregnação e chegaram a concluir que a impregnação do carvão ativado com prata seria um potencial bactericida.

Alguns trabalhos sobre o CAIP foram desenvolvidos recentemente na Escola de Engenharia de São Carlos – USP. Os estudos visando a aplicação do carvão ativado granular ou pulverizado em pré-tratamento de águas de abastecimento. SOUZA et. al.(1997) estudaram remoção de matéria orgânica, de coliformes fecais e totais com a aplicação do carvão ativado granular impregnado com prata (CAGIP) seguida da remoção do mesmo por sedimentação e também com a aplicação do carvão ativado pulverizado impregnado com prata (CAPIP) seguida da remoção do mesmo por flotação. Neste trabalho, concluíram que o CAIP é um poderoso agente desinfetante, reduzindo significativamente o NMP de coliformes totais e fecais de águas contaminadas, como pode ser visto nas figuras 3.10, ensaios com sedimentação, e 3.11, ensaios com flotação.

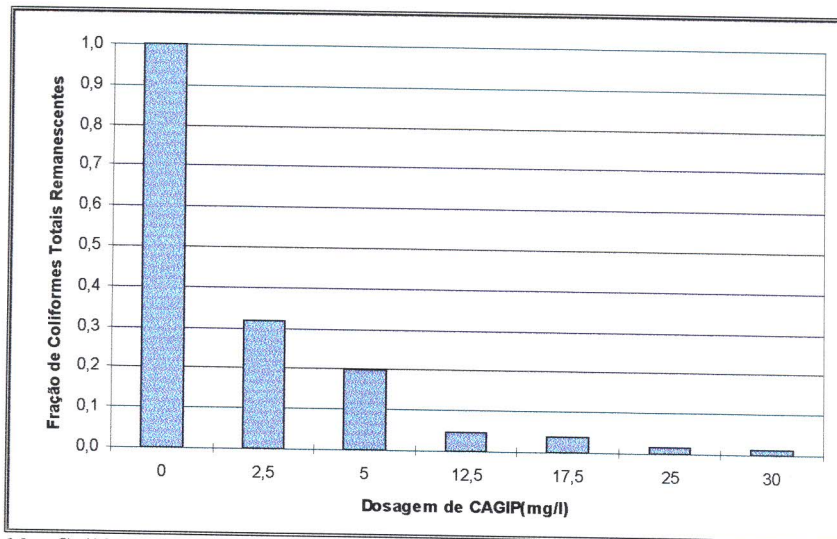


Figura 3.10 - Coliformes totais remanescentes para tempo de contato de 5,0 min e velocidade de sedimentação 1 cm/min, com NMP de coliformes totais inicial igual a 2710 / 100ml.
Fonte: SOUZA et. al (1997).

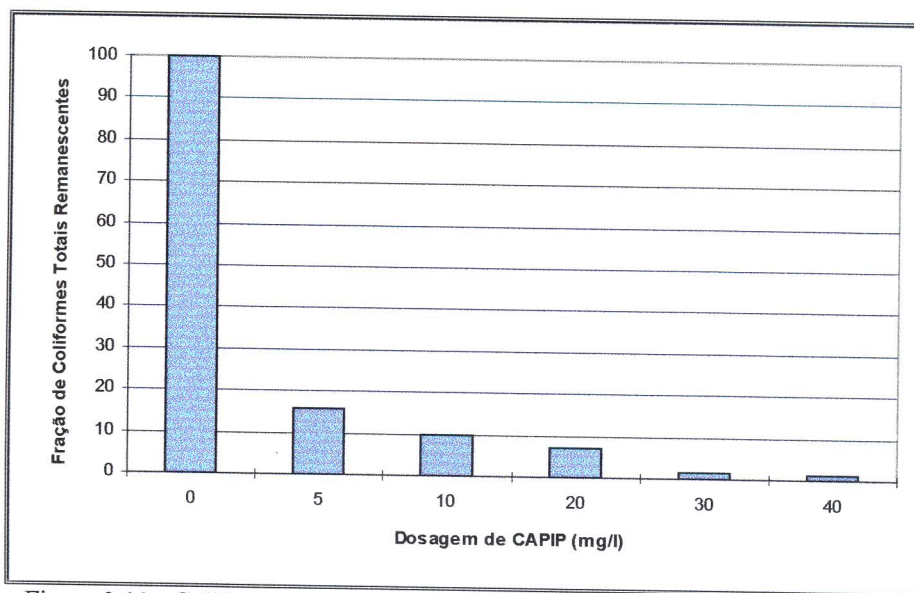


Figura 3.11 - Coliformes totais remanescentes para tempo de contato de 2,5 min, com NMP de coliformes totais inicial igual a 2070 / 100ml.
Fonte: SOUZA et. al (1997).

PECCI (1998) estudou a remoção de matéria orgânica, algas, coliformes fecais e totais com a utilização da ozonização precedendo a aplicação de CAPIP e posterior remoção deste por flotação, e concluiu que, além de remover Coliformes Totais e Fecais, o CAPIP reduziu significativamente a concentração de algas (na figura 3.12, com $T_c = 5$ min e $V_f = 5$ cm/min. a eficiência de remoção foi de 93% para a dosagem de 30 mg/l) e esta redução foi maior com o aumento da dosagem de CAPIP.

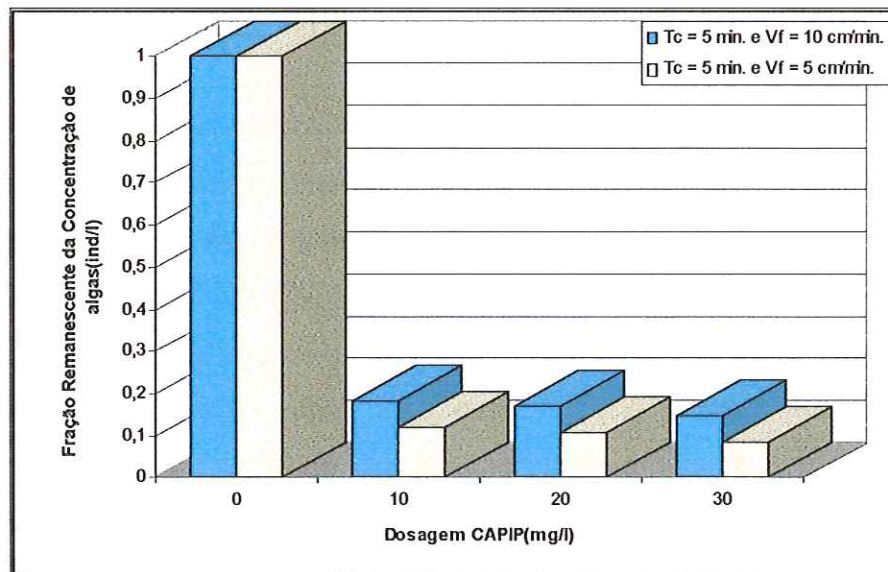


Figura 3.12 - Comparação dos valores da Concentração Remanescente de algas ($Co=1,48E5$ ind/l) em função da dosagem de CAPIP (mg/l) para diferentes velocidades de flotação
Fonte: PECCI (1998)

3.10 – CONSIDERAÇÕES SOBRE A FILTRAÇÃO

3.10.1 – INTRODUÇÃO

Segundo DI BERNARDO(1993), a filtração consiste na remoção de partículas suspensas e coloidais e de microrganismos presentes na água que escoam através de um meio poroso. Em geral, a filtração é o processo final de remoção de impurezas realizado em uma Estação de Tratamento de Água e, portanto, principal responsável pela produção de água com qualidade condizente com o Padrão de Potabilidade.

Independentemente do tipo de tecnologia empregada no tratamento, a filtração representa o processo que proporciona a melhoria da qualidade física, química e microbiológica da água, produzindo um efluente adequado para uma eficiente desinfecção. Assim, a filtração é uma etapa extremamente importante no tratamento, merecendo um conhecimento profundo dos fenômenos que nela ocorrem. Isto permitirá, não só a projeção e operação mais eficiente dos filtros, mas também, a avaliação do funcionamento dos mesmos (MOLINA, 1996).

3.10.2 – MECANISMOS DA FILTRAÇÃO EM MEIO GRANULAR

Os mecanismos envolvidos na remoção de sólidos suspensos durante a filtração rápida são muito complexos. A remoção de partículas com tamanho em torno de $1\ \mu\text{m}$, em meios granulares com vazios intergranulares de dimensões próximas a $500\ \mu\text{m}$, intrigou os pesquisadores durante muito tempo. Muitos trabalhos tem discutido os vários fatores que devem ser importantes na remoção de partículas. Um notável exemplo desta discussão é o trabalho de O'MELIA e STUMM³ apud AWWA (1990) em que concluíram que o mecanismo dominante depende das características físicas e químicas da suspensão e do meio filtrante, da taxa de filtração e das características químicas da água.

Na Figura 3.13 pode ser vista a retenção de partículas de sílica com $5\ \text{a}\ 10\ \mu\text{m}$ em grãos de areia com dimensões de $0,5\ \text{a}\ 1,0\ \text{mm}$

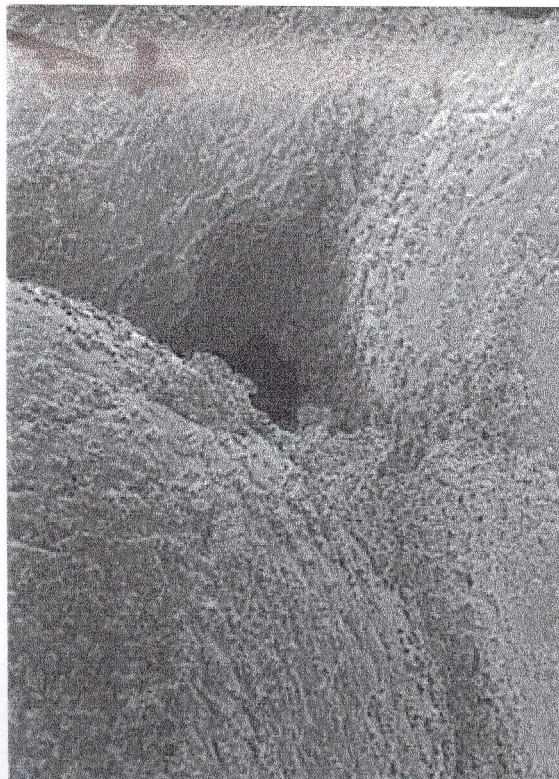


Figura 3.13 – Retenção de partículas de sílica com $5\ \text{a}\ 10\ \mu\text{m}$ em grãos de areia com dimensões de $0,5\ \text{a}\ 1,0\ \text{mm}$
Fonte: AWWA (1990)

³ O'MELIA, C.R.; STUMM, M. (1967) "Theory of Water Filtration", Journal of AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATES, vol 59, nº11, November, p. 1393.

Durante a filtração rápida descendente em meio granular, com ação de profundidade, as impurezas são retidas ao longo do meio filtrante, em contraposição à de ação superficial, em que a retenção é significativa apenas no topo do meio filtrante.

A remoção de outros sólidos, particularmente os menores, depende de dois tipos de mecanismos distintos, porém, complementares: *transporte e aderência* (DI BERNARDO (1993)). Em primeiro lugar, as partículas devem se aproximar das superfícies dos grãos e, posteriormente, devem permanecer aderidas a estes de modo a resistir às forças de cisalhamento resultantes das características hidrodinâmicas do escoamento ao longo do meio filtrante.

3.10.3 – MECANISMOS DE TRANSPORTE

Os mecanismos de transporte comumente considerados para explicar a aproximação das partículas aos grãos do meio filtrante, também denominados de coletores, são (IVES⁴ apud AWWA, 1990):

- ✓ Impacto Inercial;
- ✓ Interceptação;
- ✓ Sedimentação;
- ✓ Difusão;
- ✓ Ação Hidrodinâmica.

Segundo DI BERNARDO (1993), os mecanismos de transporte são influenciados, principalmente, pelas características físicas e químicas do afluente, do pré-tratamento químico, da taxa de filtração, do meio filtrante e do método de operação.

Na figura 3.14 são mostradas, de forma esquemática, as diversas maneiras pelas quais a partícula suspensa deixa a linha de corrente e atinge a superfície dos grãos.

⁴ IVES, K.J. (1975) Capture Mechanisms in Filtration – The Scientific Basis of Filtration. NATO Advanced Study Institute Series- SERIES E – APPLIED SCIENCES, Holanda

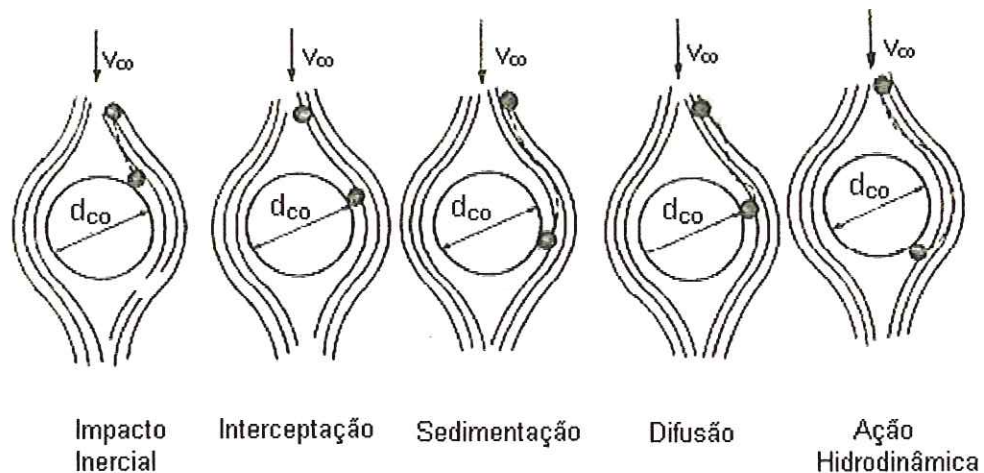


Figura 3.14 - Mecanismos de Transporte na Filtração com Ação de Profundidade
Fonte : DI BERNARDO (1993)

3.11 – UTILIZAÇÃO DE MANTAS SINTÉTICAS NÃO TECIDAS

3.11.1 - INTRODUÇÃO

Muitas inovações foram introduzidas desde 1829, quando os filtros de areia foram empregados pela primeira vez no tratamento de água para abastecimento público, tanto na filtração rápida quanto na filtração lenta, podendo-se citar o emprego de mantas sintéticas não tecidas na filtração lenta, a filtração em dupla camada e a filtração com escoamento ascendente.

O emprego de mantas sintéticas não tecidas visa reduzir a penetração de impurezas no meio filtrante. Segundo PÁDUA e DI BERNARDO (1997), os benefícios decorrentes do emprego de mantas em instalações piloto de filtração lenta, são:

- ✓ aumento da duração da carreira de filtração;
- ✓ possibilidade de redução da carga hidráulica disponível;
- ✓ possibilidade do emprego de taxas de filtração mais elevadas;
- ✓ possibilidade de redução da espessura da camada de areia;
- ✓ facilidade na operação de limpeza e diminuição dos serviços de manutenção;

3.11.2 – CARACTERÍSTICAS DAS MANTAS

As mantas sintéticas são produtos têxteis constituídos por fibras de polímeros orgânicos. Essas mantas dividem-se em dois grupos: tecidas e não tecidas. As mantas sintéticas não tecidas são produzidas por diversas técnicas industriais, resultando grande variedade delas no mercado, em função de possuírem diferentes propriedades, tais como espessura, porosidade, massa específica, superfície específica e condutividade hidráulica.

Os principais constituintes das fibras das mantas sintéticas não tecidas são polipropileno, poliéster, polietileno, cloreto de polivinila, poliamida e poliestireno.

Na tabela 3.2, são apresentadas por MBWETTE e GRAHAM(1990) propriedades de mantas sintéticas, valores obtidos a partir da caracterização de 20 mantas sintéticas não tecidas

Tabela 3.2 – Principais Propriedades Físicas de 20 Mantas não Tecidas

Propriedades	Mínima	Máxima
Espessura(mm)	0,36	20
Porosidade(calculada)	0,56	0,90
Diâmetro das fibras(μm)	27	48
Massa específica(g/cm^3)	27	0,40
Superfície Específica(m^2/m^3)	1.100	36.300

Fonte: MBWETTE e GRAHAM(1990)

PATERNIANI (1991) estudou quatro tipos de mantas sintéticas não tecidas compostas por fibras de três materiais combinados em diferentes porcentagens: poliamida, poliéster e polipropileno. As características físicas destas mantas estão descritas na tabela 3.3.

Tabela 3.3 : Propriedades físicas de quatro mantas sintéticas não tecidas produzidas no Brasil.

Parâmetro	Manta 1	Manta 2	Manta 3	Manta 4
Diâmetro médio das fibras (μm)	42,43	37,81	45,09	23,96
Massa específica (g/cm^3)	0,123	0,108	0,115	0,106
Porosidade (%)	89,0	91,0	88,3	92,3
Superfície específica (m^2/m^3)	10 360	9 500	10 388	12 778
Permeabilidade (mm/s)	7,01	7,33	7,16	4,23
Espessura (mm)	5	5	5	5

Fonte: PATERNIANI (1991)

Para mantas com elevada área superficial específica, a filtrabilidade é tão grande que, para qualquer espessura de manta superior a 1 mm, a perda de carga é alcançada mais rapidamente que nos filtros lentos convencionais de areia. Embora uma pequena espessura destas mantas previna a penetração de partículas na areia, elas não são eficientes na redução da frequência de limpeza dos filtros. Por outro lado, mantas muito porosas e com baixa superfície específica possibilitam aumentar a duração da carreira de filtração, sendo que o fator de aumento cresce com a espessura da manta. Contudo, é possível que, para uma manta particular, haja uma espessura limite que corresponda ao aumento máximo da duração da carreira de filtração. Entretanto, os pesquisadores recomendam que a espessura total das mantas não ultrapasse a 2 ou 3 cm, a fim de não dificultar a remoção das mesmas para limpeza.

Segundo DI BERNARDO et. al (1997), após a colmatação decorrente da retenção de impurezas, as mantas não-tecidas empregadas no tratamento de água são lavadas, por meio de jatos de água, e reutilizadas. A reutilização das mantas exige que o polímero que constitui a fibra do não-tecido apresente algumas propriedades particulares tais como resistência a abrasão, ausência de grupos polares para facilitar sua limpeza, resistência a compostos químicos como ácidos, álcalis e agentes oxidantes encontrados na água e resistência a fungos e ácidos orgânicos. O baixo custo também é um fator relevante, de modo que as fibras de polipropileno são

citadas como as mais indicadas para a confecção de mantas a serem empregadas no tratamento de água para abastecimento público.

3.11.3 – USO DE MANTAS SINTÉTICAS NÃO-TECIDA EM TRATAMENTO DE ÁGUA DE ABASTECIMENTO

Desde 1829, quando os filtros de areia foram empregados pela primeira vez no tratamento de água para abastecimento público, ocorreram muitas inovações visando melhorar o desempenho destas unidades. As pesquisas relacionadas ao emprego de mantas sintéticas não-tecidas são de particular interesse a este trabalho. Os não-tecidos, amplamente utilizados em produtos industriais e em obras de engenharia, começaram a ser estudados na década de oitenta por grupos de pesquisa da Inglaterra, visando sua aplicação na filtração lenta para tratamento de águas de abastecimento. Em 1988 foi iniciado o primeiro trabalho relacionado a este tema no Brasil, desenvolvido no Departamento de Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (EESC-USP).

Até o ano de 1995, as pesquisas restringiram-se às estações de tratamento de água (ETA) de filtração lenta e a pré-filtros. Em 1995 começou um trabalho na EESC-USP com o objetivo de avaliar a potencialidade do emprego de não-tecidos nas ETA de ciclo completo. Em todos os casos as mantas são empregadas para reter parte das impurezas encaminhadas ao meio filtrante granular, visando aumentar a duração da carreira de filtração sem prejudicar a qualidade do efluente, de modo a reduzir os custos operacionais das estações.

Como dito acima, quando se considera o emprego de MNT nos decantadores de ETA com coagulação química, os estudos são ainda muito recentes. Problemas operacionais, construtivos ou de projeto podem conduzir ao funcionamento insatisfatório das unidades que compõem as ETA de ciclo completo. Além disso, sazonalmente ocorre variação na qualidade da água bruta de algumas ETA, conduzindo à formação excessiva de flocos com baixa velocidade de sedimentação, os quais, não sendo removidos na unidade de decantação, acarretam sobrecarga de sólidos nos filtros, que passam a apresentar carreiras de curta duração, o que aumenta os custos operacionais da ETA, em decorrência do grande volume de água que passa

a ser gasto na lavagem do filtros. Em algumas situações desta natureza, a mudança do tipo de coagulante utilizado na ETA, ou o emprego de polímero como auxiliar de floculação, são suficientes para melhorar a qualidade da água decantada. A substituição dos decantadores por unidades de flotação pode ser tecnicamente viável, mas quase impraticável em ETA existentes. Nas pesquisas que vêm sendo realizadas na EESC-USP, tem-se como objetivo avaliar se o emprego de MNT pode vir a ser mais uma opção para solucionar problemas decorrentes do desempenho insatisfatório das unidades de decantação de ETA.

PÁDUA e DI BERNARDO (1997) publicaram trabalho no qual é avaliada a capacidade que as MNT possuem de reter impurezas de água com cor verdadeira alta e baixa turbidez, características que frequentemente conduzem à formação de flocos com baixa velocidade de sedimentação. Concluiu-se que o emprego de MNT possibilitou melhorar a qualidade da água decantada em relação aos ensaios em que a mesma não foi utilizada.

4 – MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS

O filtro piloto foi montado com a finalidade de avaliar a capacidade de adsorção e desinfecção do carvão ativado granular impregnado com prata, que doravante será denominado de CAGIP, simulando uma situação de filtro de pós-tratamento em estações de tratamento de água, bem como uma situação de filtros domiciliares nos quais a passagem da água pela coluna de carvão é realizada em um tempo muito pequeno.

O CAGIP utilizado para a execução do trabalho experimental foi doado pela BRASILAC – Indústria Química Ltda. e a instalação de filtração foi montada no Laboratório de Instalações Hidráulico-Sanitárias do departamento de Hidráulica e Saneamento da EESC – USP.

4.2 – EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

Foram utilizados os seguintes equipamentos para a realização do trabalho:

- ✓ Turbidímetro da HACH, modelo 2100 P: utilizado para leitura da turbidez ;
- ✓ Espectrofotômetro da SHIMATZU, modelo UV-160A;UV-VISIBLE RECORDING: utilizado para a leitura da absorvância no comprimento de onda 254 nm e concentração de nitrato;
- ✓ Espectrofotômetro de Absorção Atômica, da INTRALAB, modelo AA-1275: utilizado para a leitura da concentração de prata;
- ✓ Total Organic Carbon Analyzer, da SHIMATZU, modelo TOC-5000 A: utilizado para determinação de Carbono Orgânico Total;

- ✓ QUANTI-TRAY™ SEALER, da IDEXX: utilizado para a determinação do NMP de coliformes totais e fecais;
- ✓ DR/4000, Direct Reading Spectrophotometer, da HATCH: utilizado para a determinação da cor aparente;
- ✓ pHmeter, da ORION, modelo 420A: utilizado para a determinação do pH;
- ✓ Motor Elétrico, da WEG, modelo 78 90S (1/2 cv): utilizado para homogeneizar a água de estudo;
- ✓ Bomba Dosadora, da WALLACE & TIERNAN, modelo G 20V (Vazão máx: 130 L/h): utilizada na instalação de filtração;

4.3 – INSTALAÇÃO DE ESTUDO

A instalação era composta por uma caixa de resina com capacidade de armazenamento de 1000 L da água de estudo, uma bomba dosadora com capacidade máxima de 130 L/h, uma haste para elevar o reservatório de nível constante, um cavalete metálico que sustentava o filtro piloto e bomba dosadora, um agitador para homogeneizar a água de estudo e o filtro piloto com CAGIP. Nas figuras 4.1 e 4.2 são mostrados o esquema e foto da instalação.

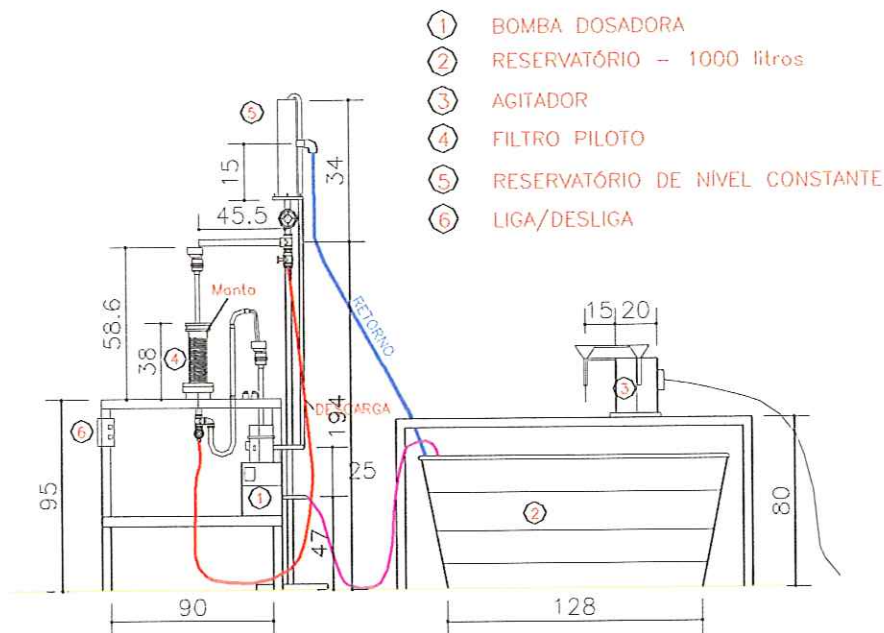


Figura 4.1 – Desenho esquemático da Instalação de Filtração com CAGIP



Figura 4.2 - Instalação de Filtração com CAGIP

O filtro piloto era composto por um tubo de acrílico de 92 mm de diâmetro interno, resultando uma área de $0,0066 \text{ m}^2$, acoplado a um suporte para fixação deste no cavalete metálico e a um cap modificado que lhe servia como tampa. A altura do meio filtrante era de 24,5 cm e o ponto de coleta encontrava-se a 45 cm distante do cavalete. Fazendo-se a subtração da altura do meio filtrante e do suporte do filtro, resultava a diferença entre o topo do meio filtrante e do ponto de coleta de amostras, de 13,5 cm (ver figuras 4.3 e 4.4). A vazão era mantida constante devido a fixação da altura do reservatório de nível constante, que se encontrava suspenso, e do auxílio de um registro de agulha. A vazão do filtro foi calibrada, de modo a se obter taxa de filtração de 200 a $250 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$. A instalação de filtração apresentou Carga Hidráulica Disponível Variável e Resistência Total do Filtro Variável, o que resultou em Taxa de Filtração constante. O limite da carga hidráulica disponível era o topo do tubo de água afluyente ao filtro (figura 4.2), que quando era atingido, fazia-se necessária a limpeza da manta sintética não tecida. Para a limpeza, a manta sintética era retirada do filtro piloto e lavada com água corrente do poço profundo.

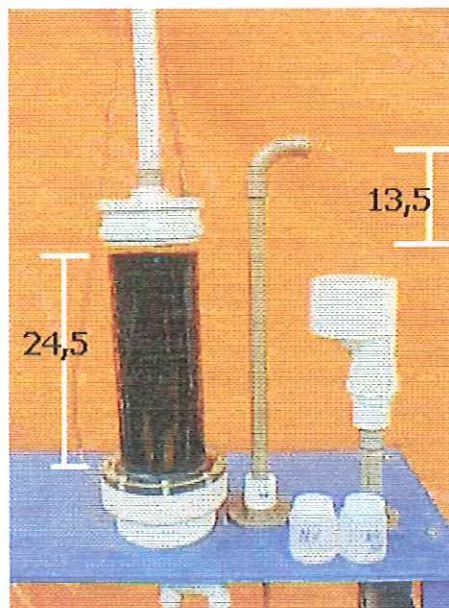


Figura 4.3 - Filtro Piloto

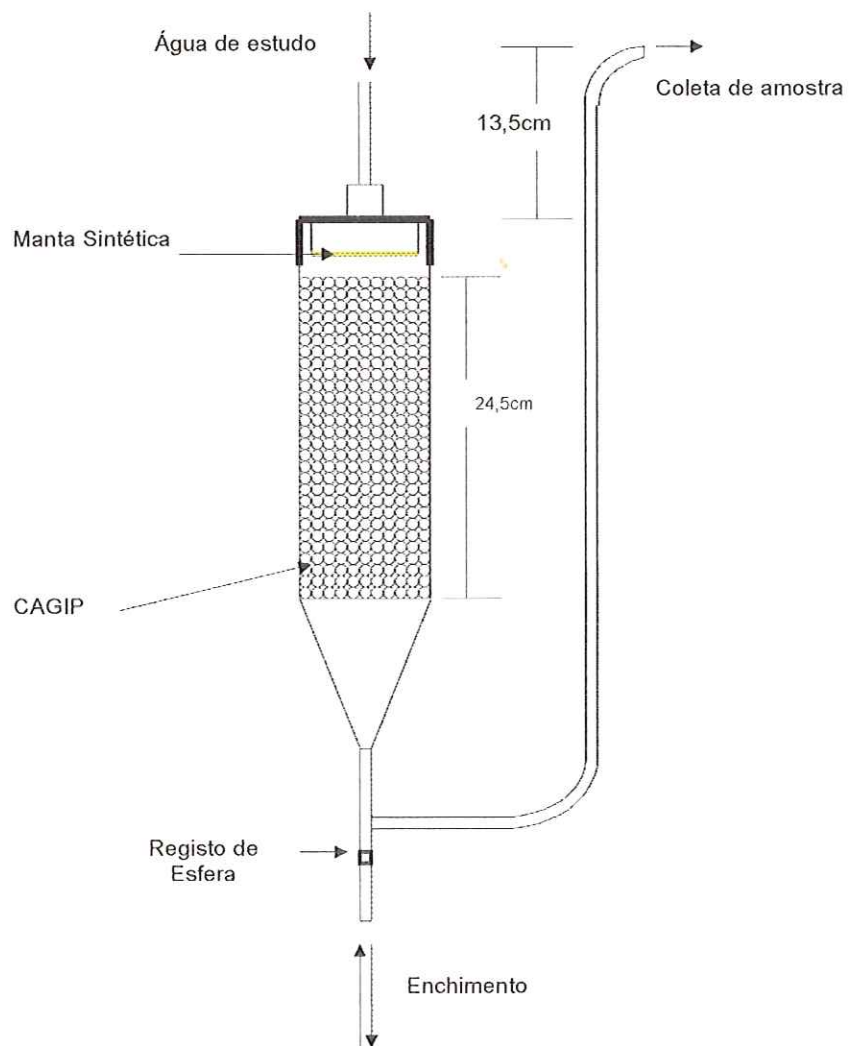


Figura 4.4 - Esquema do filtro piloto

4.4 – CARVÃO ATIVADO IMPREGNADO COM PRATA E MANTA SINTÉTICA NÃO TECIDA

O CAGIP é denominado pela BRASILAC - Indústrias Químicas Ltda, como Carbonado Beta T-Ag. É um produto de grande área superficial, cuja estrutura é uma rede de microporos, de alto coeficiente de uniformidade e elevada dureza. É desenvolvido com impregnação com prata numa porcentagem especial para redução de microrganismos na água, não permitindo sua reprodução no leito do carvão. As principais características do CAGIP podem ser vistas na tabela 4.1.

Tabela 4.1 : Características do CAGIP

Produto:	Carbonado Beta T-Ag
Densidade Aparente	0,5 ± 0,05 g/cm ³
Número de Dureza	Mín 90,0 %
prata	0,10 %
Cinzas	Máx 8,0 %
Granulometria	0,71 x 1,68 (mm)
Umidade ao embalar	Máx. 8%

Na tabela 4.2 são apresentadas as principais características da manta sintética utilizada no filtro piloto. Essa manta foi selecionada a partir de outros trabalhos realizados na EESC-USP, com o fim remover parcialmente o material suspenso e coloidal, de modo a evitar colmatação rápida dos grãos de CAGIP. A manta foi localizada no cap superior da unidade filtrante, de tal sorte que a água afluyente teria de passar por ela, antes de ser filtrada no CAGIP.



Tabela 4.2 : Características da Manta Sintética utilizada no Filtro Piloto

Produto	TECHTEXTIL FILTRO
Fabricação	Não tecido agulhado horizontal
Composição: superfície	50% Polipropileno (PP/PP) 50% Poliester (PES/PES)
Alma:	100% Polipropileno(PP/PP)
Gramatura	3,2 ± 0,3 mm
Cor predominante	Branca natural
Indicação de resistência	
Luz	Estabilizado contra UV
Calor	110 ° C máximo durante 24 h
Ácidos	Muito resistente
Álcalis	Muito resistente
Mofos	Excelente
Solventes orgânicos	Solúvel em hidrocarbonetos a quente

4.4.1 – DETERMINAÇÃO DO NÚMERO DE IODO

O trabalho experimental iniciou-se com a determinação do número de Iodo do CAGIP a ser utilizado, segundo os procedimentos descritos na MB-3410/1991. O valor obtido foi igual a 760 mgI₂/g. Este parâmetro foi considerado satisfatório, tendo em vista os números de iodo de outros carvões ativados já estudados e a própria definição existente na norma, o qual deve ser superior a 600 mgI₂/g.

4.4.2 – DETERMINAÇÃO DA GRANULOMETRIA

O ensaio granulométrico foi realizado no Laboratório de Mecânica do Solos do Departamento de Geotecnia da EESC-USP, conforme o descrito em BAPTISTA NOGUEIRA (1995). Como o CAGIP utilizado é distribuído em sacos de 10 Kg e com granulometria definida (0,71 x 1,68 mm), o ensaio realizado teve como objetivo a ratificação desta granulometria e descarte de eventuais alíquotas que não se

adequassem ao intervalo. O peneirador foi montado de forma a classificar o CAGIP no intervalo pré estabelecido, sendo assim, a peneira #12 (1,7 mm) foi colocada na parte superior e a peneira #25 (0,71 mm) foi colocada na parte inferior. Para a realização do ensaio, o saco de CAGIP foi levado ao laboratório de mecânica dos solos e alíquotas de 800 g eram colocados no peneirador. Após o peneiramento, o material retido na peneira superior e o que passava na inferior foram descartados.

4.4.3 – LAVAGEM DO CAIP

Para a lavagem do CAGIP, etapa considerada como uma das mais importantes do processo, foi desenvolvido um dispositivo constituído de um tubo de PVC de 100 mm com 40 cm de comprimento e três caps: dois normais e um perfurado para a retirada da água de lavagem. O aparelho de lavagem pode ser visto na figura 4.5.

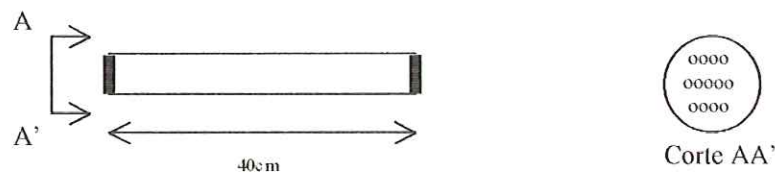


Figura 4.5 – Desenho esquemático do aparelho de lavagem.

O seguinte procedimento foi adotado para a realização da lavagem:

- i) Enchimento da coluna até a altura de 22 cm;
- ii) Enchimento total do aparelho como água destilada;
- iii) Após 2,5 min foi realizada uma agitação por 30 s;
- iv) Repouso por 2,5 min;
- v) Agitação por 30 s;
- vi) Repouso por 2,5 min;
- vii) Troca do cap normal pelo cap perfurado para a retirada da água de lavagem;
- viii) Repetição da operação por mais uma vez.

Após o término dessa operação o CAGIP era colocado no filtro piloto, o qual foi enchido e em seguida esvaziado por duas vezes com água destilada. O enchimento definitivo foi feito de forma ascendente, com água de estudo, com uma vazão bem baixa para evitar o aparecimento de bolhas de ar no meio filtrante e conseqüentes caminhos preferenciais da água.

4.5 – PREPARAÇÃO DAS ÁGUAS DE ESTUDO

Foram preparadas três águas de estudo a partir da água do poço profundo do campus da USP de São Carlos, coletada antes da adição de cloro, denominadas Água Tipo I, Água Tipo II e Água Tipo III.

A partir da adição de caulinita à água do poço profundo, foram obtidas as características desejadas para as águas de estudo, utilizando-se Kaolin K-3 (Fisher Scientific Company). O procedimento consistiu em agitar durante 2h ,42,85g de K-3 em 2L de água destilada, e depois de 15h de repouso, coletar o sobrenadante, o qual constituiu a amostra mãe a ser adicionada na água de estudo.

O enchimento do tanque de resina de 1000 litros e preparo das águas de estudo foi feito durante a noite, pois a vazão disponível de água do poço era maior, e sendo assim possibilitava a estabilização da água recém-preparada, a qual ficava em repouso por pelo menos doze horas antes da realização do ensaio.

As características desejadas para a água tipo II e III foram conseguidas com a adição de caulinita, esgoto sanitário previamente filtrado e HCl 0,1 M ou NaOH 0,1 M para a correção do pH.

O esgoto sanitário era inicialmente filtrado e em seguida adicionado na água de estudo (3 ml em 900 litros) trinta minutos antes do início de cada ensaio. Como ocorreu a diminuição do NMP de Coliformes Totais/100 mL durante os ensaios, após 2,5 horas do início de cada ensaio foi adicionado 1 mL de esgoto sanitário filtrado à água de estudo. Objetivando coletar esgoto sanitário com as mesmas características, a coleta de esgoto sanitário foi feita sempre no mesmo horário.

Devido a presença de Coliformes Totais e de prata no efluente do filtro, a água tipo III foi preparada com uma variação maior do pH, maior turbidez e menor

variação do NMP de Coliformes Totais que a água tipo II. Os ensaios com a água tipo III foram realizados simulando a utilização diária de um filtro domiciliar.

A água tipo I apresentou como características principais a turbidez igual a 1,1 uT, cor aparente igual a 6 uC, pH igual a 6,6 e a ausência de coliformes Totais e Fecais. Este tipo de água foi preparada com o objetivo de verificar o comportamento da instalação de filtração em relação a remoção de material particulado e matéria orgânica na ausência de microrganismos.

A água tipo II apresentou como características principais a turbidez igual a 1,1, com variação de 0,5 uT, cor aparente igual a 5, com variação de 3 uC, pH igual a 7,8, com variação de 1, e a presença de coliformes Totais (até 2400 org/100 mL) e Fecais.

Finalmente, a água tipo III apresentou como características principais a turbidez igual a 1,5, com variação de 0,5 uT, cor aparente igual a 5, com variação de 2 uC, pH igual a 7,9, com variação de 0,5 e coliformes Totais (até 816 ind/100 mL) e Fecais.

4.5.1 – CARACTERÍSTICAS DAS ÁGUAS DE ESTUDOS

Na tabela 4.3 pode ser vista as características da água do poço profundo, das águas tipo I, tipo II e tipo III.

Tabela 4.3 – Características da Água do Poço Profundo e das Água Tipo I, Tipo II e Tipo III

Características	Água do Poço Profundo	Água Tipo I	Água Tipo II	Água Tipo III
NMP Coliformes Totais/ 100ml	ND	ND	10 a 2400 ¹	10 a 816
Turbidez (uT)	0,23	1,1	1,1 ± 0,5	1,5 ± 0,5
Cor Aparente(uC)	1	6	5 ± 3	5 ± 2
Temperatura (° C)	21	25 ± 1 ²	25 ± 1	25 ± 1
pH	6,10	6,60	7,8 ± 1	7,9 ± 0,5
Carbono Orgânico Total (mg/L)	0,256	0,891	1,224	0,753
Abs. (λ = 254 nm)	0,004	0,010	0,012	0,016
Alcalinidade(mg/L CaCO ₃)	23	24	24	25
Dureza (mg/L CaCO ₃)	15	16	17	18
Cond. Elétrica(μS/cm)	42,8	46,7	48,8	47,6
Potencial Zeta (mV)	-10,2	-21,9	-18,2	-24,5
Prata (mg/L)	ND	ND	ND	ND

4.5.2 – PROCEDIMENTO PARA REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS

Visando realizar todos os ensaios da mesma forma, foi elaborado um roteiro seguido toda vez que um ensaio era executado, o qual era programado no dia anterior, com a elaboração de planilhas e lavagens de frascos e vidrarias a serem utilizadas.

¹ O controle do NMP de Coliformes Totais /100 mL foi dificultado pela diminuição do NMP durante o ensaio.

² O controle de temperatura era feito com um ebulidor ou com pedras de gelo preparadas com água do poço, dependendo da temperatura da água de estudo no momento da realização do ensaio.

O seguinte procedimento foi seguido em cada ensaio:

- i. Ligar agitador para homogeneizar a água de estudo;
- ii. Ligar bomba dosadora para encher o reservatório de nível constante;
- iii. Ligar e calibrar o pHgâmetro e o turbidímetro;
- iv. Numerar frascos e vidrarias para coleta;
- v. Análise final da programação de coletas do ensaio a ser realizado;
- vi. Início do ensaio;

No tempo programado foi feita a coleta da seguinte forma:

- 1) no retorno do reservatório de nível constante, utilizando:
 - a) *frascos de coleta* (determinação de pH, turbidez, cor aparente e absorbância no $\lambda=254\text{nm}$);
 - b) *tubos de ensaio* (determinação de Carbono Orgânico Total e concentração de prata);
 - c) *sacos plásticos Colilert* (determinação de Coliformes Totais e Fecais).
- 2) no efluente do filtro piloto, utilizando:
 - a) *frasco de coleta* (determinação de pH, turbidez, cor aparente e absorbância no $\lambda=254\text{nm}$);
 - b) *tubos de ensaio* (determinação de Carbono Orgânico Total e concentração de prata);
 - c) *sacos plásticos Colilert* (determinação de Coliformes Totais e Fecais);
 - d) *proveta de 1 L* (determinação da taxa de filtração e taxa volumétrica).

4.5.3 –DETERMINAÇÃO DA TAXA VOLUMÉTRICA E DE FILTRAÇÃO

Para a determinação da taxa volumétrica e de filtração foi necessário a determinação da vazão que estava sendo filtrada pelo filtro piloto. Para tanto, ao final de cada coleta era cronometrado o tempo necessário para o enchimento da proveta de 1 L. Este procedimento era feito 3 vezes e a média aritmética dos tempos medidos era utilizada no cálculo da vazão. O cálculo da Taxa de Filtração era feito utilizando-se da equação 18:

$$T_{AS} = \frac{Q}{A} \text{ (m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d)} \quad (18)$$

onde T_{AS} : Taxa de filtração ($\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$);

Q : Vazão (m^3/d);

A : Área do filtro (m^2).

Sabendo-se a vazão e o intervalo de tempo entre coletas, calculava-se o volume que havia sido filtrado. A somatória destes volumes era o Volume Total filtrado no ensaio. Após o ensaio do Picnômetro no laboratório de MECÂNICA DOS SOLOS do Departamento de Geotecnia da EESC-USP, determinou-se que a porosidade do CAGIP era de 0,45. Utilizando-se a equação 19 calculou-se o Volume do CAGIP.

$$V_{CAGIP} = V_{Filtro} * (1 - e) \quad (19)$$

onde V_{CAGIP} : Volume de carvão ativado impregnado com prata (L);

V_{Filtro} : Volume do Filtro piloto (L);

e : porosidade (%)

Finalmente, o cálculo da Taxa Volumétrica era feito utilizando-se a equação 20, ou seja, o Volume filtrado pelo filtro piloto dividido pelo volume efetivo de CAGIP.

$$T_{VOLUMÉTRICA} = \frac{V_{Filtrado}}{V_{CAGIP}} \quad (20)$$

onde $T_{VOLUMÉTRICA}$: Taxa Volumétrica ($L_{filtrado}/L_{CAGIP}$);

$V_{Filtrado}$: Volume Filtrado pelo Filtro piloto (L);

V_{CAGIP} : Volume de carvão ativado impregnado com prata (L);

4.6 – COLETA DE AMOSTRAS

A coleta de amostras foi realizada na saída do filtro piloto (figura 4.6) e no retorno do reservatório de nível constante para o reservatório de 1000 L e denominadas de coleta do efluente e coleta da água bruta, respectivamente. As coletas foram feitas em frascos para determinação de turbidez, cor aparente, pH e absorvância a $\lambda = 254$ nm, em tubos de ensaio para a determinação do carbono orgânico total e concentração de prata, e em sacos plásticos do método Colilet para determinação do NMP de coliformes Totais e Fecais. Concomitantemente à coleta das amostras também foi medida a vazão (L/h) para se determinar a taxa que o meio filtrante estava submetido no intervalo entre as coletas. Este procedimento consistiu em cronometrar 3 vezes o tempo necessário para o enchimento de uma proveta de 1 L e a média aritmética dos tempos era utilizada para o cálculo da vazão e conseqüentemente da taxa.



Figura 4.6 - Coleta de amostra

Com o intuito de verificar pequenas variações das características da água bruta, também foram feitas coletas de amostras da mesma.

Com o objetivo homogeneizar a água bruta, foi instalado um agitador (uma hélice acoplada a um motor) no reservatório da água bruta. Na figura 4.7 pode se ver o agitador durante a realização de ensaio.



Figura 4.7: Agitador durante a realização do ensaio

4.6.1 – ETAPA 1

Foram realizados 8 ensaios com a Água Tipo I. Em cada um deles, foram coletadas amostras e determinados os seguintes parâmetros: turbidez, cor aparente, pH, absorvância $\lambda = 254$ nm, carbono orgânico total e concentração residual de prata.

Nos primeiros quinze minutos foram feitas três coletas: 1, 8 e 15 minutos. Nas duas horas iniciais foram feitas coletadas em intervalos de 15 minutos. Após a segunda hora foram feitas coletas a cada vinte minutos.

4.6.2 – ETAPA 2

Os ensaios 9 a 15 foram realizados com a Água Tipo II. Em cada um deles foram coletadas amostras e determinados os seguintes parâmetros: turbidez, cor aparente, pH, absorvância $\lambda = 254$ nm, carbono orgânico total, concentração residual de prata, NMP de Coliformes Totais e Fecais/100 mL e taxa volumétrica. Com o acréscimo de dois parâmetros a serem monitorados (coliformes totais e fecais), a coleta de amostra do efluente nos ensaios com a água tipo II sofreu modificações. Sendo assim, na primeira hora dos ensaios 9 e 10 foram feitas três coletas: 1, 25 e 60

minutos; e nas quatro horas subseqüentes foram feitas coletas em intervalos de 30 minutos. Na primeira hora dos ensaios 11, 12 e 13 foram feitas duas coletas: 1 e 60 minutos; e nas quatro horas subseqüentes foram feitas coletas em intervalos de 90 minutos. Finalmente, nos primeiros 60 minutos dos ensaios 14 e 15 foram feitas seis coletas: 0,5, 1,5, 3,5, 6,5, 9,5 e 60 minutos; e na hora subseqüente foi feita mais uma coleta.

4.6.3 – ETAPA 3 (MODO PARTIDA)

Os ensaios 16 a 23 foram realizados com a água tipo III e objetivaram a análise do comportamento do filtro piloto na simulação deste como um filtro domiciliar. Tendo em vista que um filtro domiciliar é utilizado em pequenos intervalos de tempo e de forma intermitente, os ensaios foram realizados com duração de 120 min e intervalos entre ensaios de no mínimo 3 h. Cabe salientar que comumente o filtro domiciliar é utilizado assim que o usuário o coloca em funcionamento, sendo assim nos primeiros 10 min dos ensaios foram feitas 5 coletas do efluente e da água tipo III: 0,5, 1,5, 3,5, 6,5 e 9,5 min Sabendo-se que a variação da água tipo III era pequena e devido a dificuldade de se fazer as mesmas análises no efluente, a coleta da água tipo III foi feita na proveta de 1 L para posterior homogeneização e análise da água tipo III para os primeiros 10 min de cada ensaio. Após 60 e 120 min. do início do ensaio foram feitas mais duas coletas.

Nos ensaios realizados com a água tipo III, foram coletadas amostras e determinados os seguintes parâmetros: turbidez, cor aparente, pH, Absorbância ($\lambda = 254$ nm), carbono orgânico total, concentração residual de prata, nitrato e NMP de Coliformes Totais e Fecais/100 mL.

4.6.4 – LAVAGEM DOS FRASCOS E VIDRARIA

Antes da realização de cada ensaio, os frascos e vidrarias que seriam utilizadas no ensaio eram cuidadosamente lavados para evitar ao máximo interferências nas leituras realizadas. Os frascos foram lavados em água corrente, depois com água destilada e deixados para secar. Este procedimento era realizado na

noite anterior a realização de cada ensaio. Os tubos de ensaio e provetas eram lavados com água corrente, depois deixados em solução de ácido nítrico 0,1 N por 24 horas e finalmente lavados com água destilada. Os sacos plástico do método Colilert são desinfetados e hermeticamente fechados de fábrica e eram abertos instantes antes das coletas.

4.7 – MICROSCOPIA ELETRÔNICA

Foram coletadas três amostras para serem observadas em microscópio eletrônico de varredura: CAGIP sem contato com água (como vem da indústria), CAGIP após contato com a água tipo I (sem microrganismos) e CAGIP após contato com a água tipo II (com microrganismos).

As partículas foram tratadas com hexamethydisilazane (HMDS), para fixação dos microrganismos. O HMDS é um solvente com baixa tensão de superfície, comumente usado em cromatografia gasosa para preparar átomos de H₂ reativos, como os açúcares, aminoácidos, álcoois e outros compostos. O tratamento consiste na fixação, desidratação e secagem das células. Como as partículas eram muito pequenas, empregou-se sempre seringas de 1 mL para a adição ou retirada das soluções utilizadas

As partículas foram fixadas em glutaraldeído (SIGMA) 2,5 % em tampão fosfato 0,1 M (pH 7,3) por um período de 12 horas, à temperatura de 4°C. Após essa etapa seguiu-se a lavagem do material em tampão fosfato (gelado) 0,1 M (pH 7,3) por 10 minutos. Repetiu-se esta lavagem mais duas vezes. A seguir o material foi desidratado numa série gradativa de álcoois (50%, 70%, 80%, 90%, 95% e 100%), ficando cerca de 10 minutos em cada uma das concentrações. Repetiu-se a desidratação em álcool 100% mais duas vezes. Uma vez obtido o material desidratado, ele foi seco com HMDS. Para tanto, adicionou-se o HMDS (menos de 0,5 mL) no material por 30 segundos, 2 vezes repetidas. Retirava-se rapidamente o HMDS e deixava-se a amostra secar ao ar por 10 minutos; montava-se suportes colando as partículas com cola de prata (prata Condutora 200-B, DEGUSSA, S.A.) nos mesmos. A seguir levava-se o material, já colado, para secar na estufa à 30°C (

podendo ficar de 1 a 10 h; o importante é que a amostra ficasse bem seca para não causar problema na momento de receber a cobertura de ouro. A seguir, cobre-se a amostras com ouro (99,99%) num metalizador (SDC-050 Balzers). Após esse tratamento, os grãos foram observadas em microscópio eletrônico de varredura Marca ZEISS, modelo DSM 960 de 10 a 20 KeV, do Laboratório de Microscopia e Análise do Instituto de Física da USP em São Carlos.

5 – Resultados e Discussão

A seguir, é feita uma descrição do conteúdo de cada anexo para melhor entendimento da discussão dos dados.

ANEXO A: Resultados dos ensaios 1 a 8, com a Água Tipo I;

ANEXO B: Resultados dos ensaios 8 a 15, com a Água Tipo II;

ANEXO C: Resultados dos ensaios 16 a 23, com a Água Tipo III;

ANEXO D: Fotos obtidas em microscópio eletrônico de varredura.

Na Tabela 5.1 é mostrado o quadro geral dos ensaios, com suas características, finalidades e principais resultados.

Salienta-se que, nos gráficos construídos deve-se considerar os valores, pois a união dos pontos por linhas foi feito somente para efeito de visualização

Tabela 5.1 – Quadro Geral dos Resultados e Discussão

<i>Ensaio</i>	<i>Características</i>	<i>Finalidade</i>	<i>Resultados</i>
1 a 8	Água Tipo I - $T_{AS} : 220 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ Turbidez = 1,1 uT; Cor Aparente = 6 uC; COT = 0,89 mg/L; Abs.($\lambda=254\text{nm}$) = 0,010 NMP Col. Totais = ND	Avaliar o comportamento do CAGIP em relação à remoção de matéria orgânica e desprendimento de Prata no efluente do filtro piloto.	ANEXO A Desprendimento de Prata no efluente acima do permitido pela Norma Brasileira; Remoção de matéria orgânica;
9 a 15	Água Tipo II - $T_{AS} : 220 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ Turbidez = 1,1 uT; Cor Aparente = 5 uC; COT = 1,22 mg/L; Abs.($\lambda=254\text{nm}$) = 0,012 NMP Col. Totais = 10 a 2400 ind/100mL	Avaliar a ação desinfetante do CAGIP; Determinar a máxima taxa volumétrica que o CAGIP suportaria.	ANEXO B Necessidade de boa lavagem do CAGIP ao iniciar o 1º ensaio; Remoção do NMP de Col. Totais e Fecais/100mL Desprendimento de Prata.
16 a 23	Água Tipo III - $T_{AS} : 220 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ Turbidez = 1,1 uT; Cor Aparente = 6 uC; COT = 0,89 mg/L; Abs.($\lambda=254\text{nm}$) = 0,010 NMP Col. Totais = 10 a 816 ind/100mL	Análise do comportamento do filtro piloto na simulação deste como um filtro domiciliar.	ANEXO C Não ocorreu completa desinfecção do efluente; Melhor funcionamento do filtro domiciliar após 3,5 min.
Microscopia Eletrônica	CAGIP sem contato com água; CAGIP após contato com a água tipo I (sem microrganismos) e CAGIP após contato com a água tipo II (com microrganismos).	Identificação de possíveis microrganismos aderidos ao CAGIP após o contato deste com a água tipo II	ANEXO D formação de biofilme no meio filtrante constituído por carvão ativado impregnado com prata.

5.1 – ENSAIOS COM A ÁGUA TIPO I

5.1.1 – TURBIDEZ

O valor da turbidez da Água tipo I no ensaio 1 variou entre 1,0 e 1,3 uT. Como pode ser visto na figura A1, excluorgo-se o valor da turbidez do efluente (3,77 uT) no tempo de coleta igual a 300 min, em que deve ter ocorrido erro na leitura, os valores de turbidez do efluente foram sempre inferiores aos da água tipo I. Devido a correta lavagem do CAGIP, o valor da turbidez do efluente na primeira coleta realizada neste ensaio foi menor que o valor da turbidez da água tipo I. Nos ensaios seguintes, ensaios 2 a 8 (figuras A2 a A8), ocorreu semelhante comportamento dos valores da turbidez do efluente, sendo estes na maioria das coletas menor que o da água tipo I. Dentre os 104 dados obtidos de turbidez do efluente, apenas 7 foram maiores ou iguais aos da água tipo I. Na figura 5.1 pode ser visto a variação da turbidez da água tipo I e do efluente em função do tempo de operação no ensaio 4.

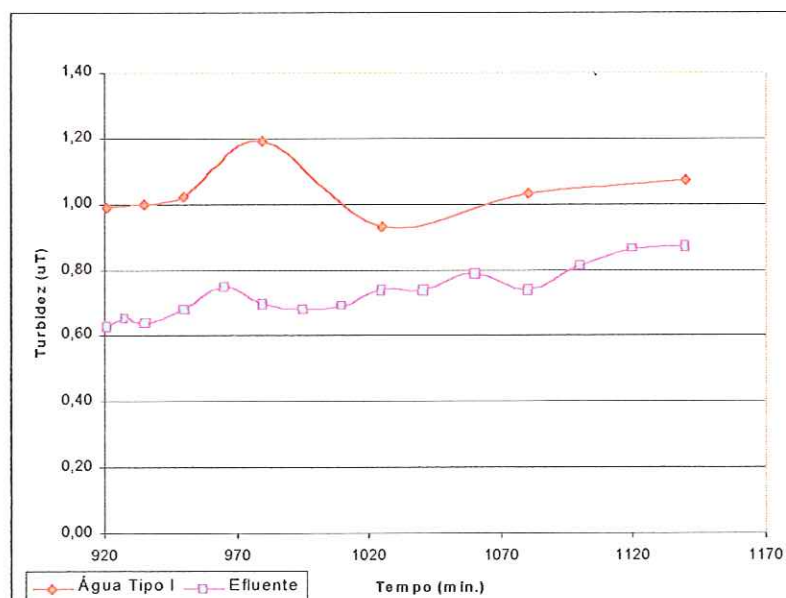


Figura 5.1 – Variação da Turbidez da Água Tipo I e do Efluente em função do tempo de operação no ensaio 4. Temp.: $25 \pm 1^\circ\text{C}$

Nos ensaios 2 a 8, a variação da turbidez do efluente foi de: 0,70 a 1,17 uT, 0,94 a 1,44 uT, 0,94 a 1,18 uT, 0,79 a 1,44 uT, 1,58 a 1,77 uT, 0,90 a 1,38 uT e 0,68 a 1,12 uT, respectivamente. Com relação a turbidez, ao final do ensaio 8 o filtro

piloto permanecia removendo material particulado e com conseqüente diminuição nos valores de turbidez.

5.1.2 – COR APARENTE

A variação dos valores de cor aparente da água tipo I (3 a 5 uC) e do efluente (2 a 13 uC) em função do tempo de operação do filtro piloto no ensaio 1 é mostrada na figura A9. Neste ensaio, os valores de cor aparente do efluente foram menores que os da água tipo I, excetuando as coletas nos tempos 280 e 300 min, nas quais pode ter ocorrido algum erro de leitura, pois os dados estão muito discrepantes dos demais dados obtidos, inclusive nos outros ensaios.

Conforme figuras A11 a A16, os valores de cor aparente do efluente do filtro piloto foram sempre menores que os valores de cor aparente da água tipo I, demonstrando assim as características redutoras de cor aparente do filtro piloto. A incomum variação dos valores de cor aparente do efluente e da água tipo I em função do tempo de operação do filtro piloto no ensaio 2 (figura A10) não foi considerada nesta análise.

Na figura 5.2 pode ser vista a variação da cor aparente da água tipo I e do efluente em função do tempo de operação no ensaio 6.

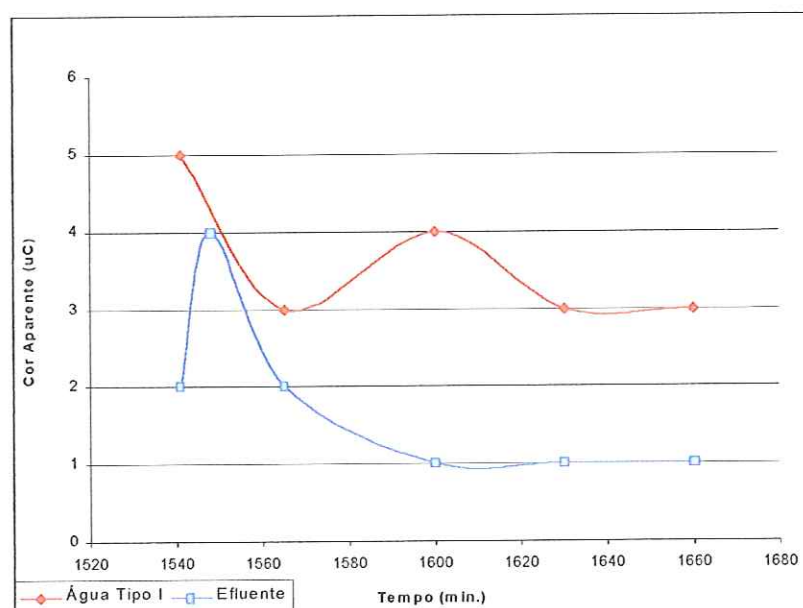


Figura 5.2 – Variação da Cor Aparente da Água Tipo I e do Efluente em função do tempo de operação no ensaio 6. Temp.: $25 \pm 1^\circ\text{C}$

5.1.3 – ABSORBÂNCIA ($\lambda = 254 \text{ nm}$)

Como a absorbância no $\lambda=254 \text{ nm}$ é uma medida ^{indireta} orgireta da matéria orgânica existente na água e sendo o CAGIP adsorvedor de matéria orgânica, nos ensaio 1 a 8, ocorreu diminuição dos valores da Abs. no $\lambda=254 \text{ nm}$ do efluente em relação a água tipo I, como pode ser visto nas figuras A17 a A24. Neste ensaios as variações dos valores de Abs. no $\lambda=254 \text{ nm}$ da água tipo I foram as seguintes: 0,006 a 0,016, 0,003 a 0,012, 0,004 a 0,007, 0,004 a 0,005, 0,009 a 0,024, 0,010 a 0,014, 0,008 a 0,020 e 0,005 a 0,012, respectivamente.

Como visto na figura 5.3, no ensaio 8 a redução dos valores de Abs no $\lambda=254 \text{ nm}$ do efluente com relação aos valores da água tipo I não ocorreu em todas as coletas, o que pode ser um pequeno sinal de exaustão do CAGIP.

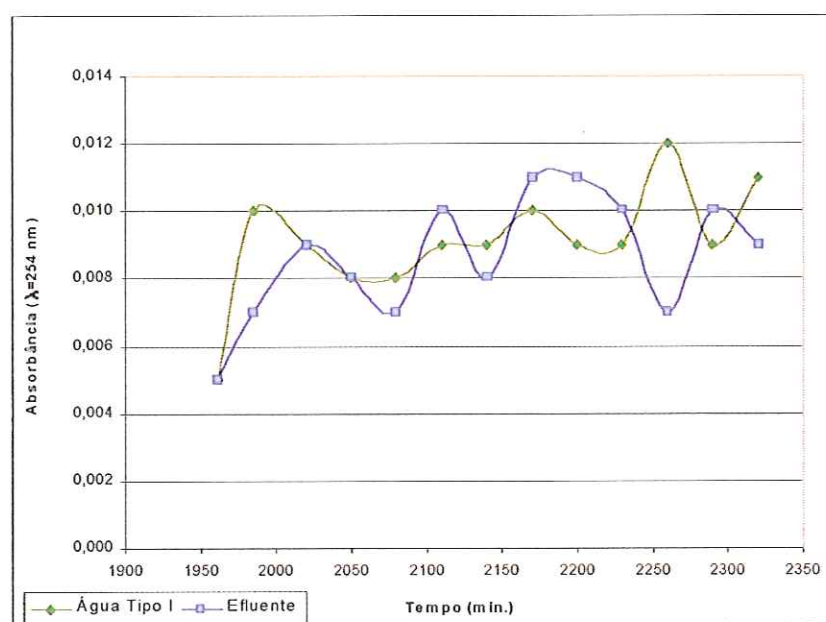


Figura 5.3 - Variação da Absorbância ($\lambda=254 \text{ nm}$) da Água Tipo I e do Efluente em função do tempo de operação no ensaio 8. Temp.: $25 \pm 1^\circ\text{C}$

5.1.4 – CARBONO ORGÂNICO TOTAL

As variações do COT do afluente e da água tipo I em função do tempo de operação do filtro piloto nos ensaios 1 a 8 podem ser vistas nas figuras A1 a A8. Bem como a Abs. $\lambda=254 \text{ nm}$, o Carbono Orgânico Total é uma medida de matéria orgânica existente na água, sendo assim, as variações dos valores de COT nos

ensaios 1 a 8 foram semelhantes às variações da $\lambda=254$ nm, já descritas no item anterior.

5.1.5 – pH E CONCENTRAÇÃO DE PRATA

O aparecimento de prata no efluente do filtro piloto ocorreu no primeiro ensaio com a água tipo I (Conc. de Prata = 0,050 mg/L, pH = 6,70, tempo de operação do filtro igual a 15 min), como pode ser visto na figura A32, e também ocorreu em todos os outros ensaios com a água tipo I (figuras A33 a A39). Este fato motivou a análise da Verificação do Desprendimento de Prata no Efluente (item 5.6 deste Capítulo). Bem como nos ensaios com a água tipo II e III, ocorreu diminuição dos valores do pH do efluente em relação ao valor de pH da água de estudo, como pode ser visto na figura 5.4.

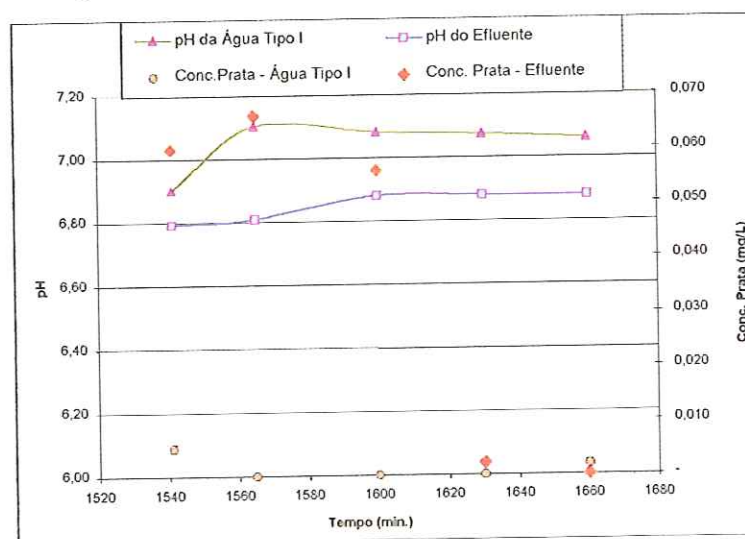


FIGURA 5.4 – Variação do pH e Concentração de Prata da água tipo I e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 6. Temp.: $25 \pm 1^\circ$ C

5.1.6 – TAXAS VOLUMÉTRICAS E DE FILTRAÇÃO

Os ensaios com a água tipo I terminaram quando se fez necessário a lavagem da manta sintética pela segunda vez, aos 2320 min (38,7 h) de operação do filtro piloto e taxa volumétrica total de $2636,7 \text{ L}_{\text{filtrado}}/\text{L}_{\text{CAGIP}}$. A primeira lavagem da manta sintética fora feita aos 1660 min (27,7 h) de operação do filtro piloto e taxa de filtração de $1899 \text{ L}_{\text{filtrado}}/\text{L}_{\text{CAGIP}}$. Na figura 5.5 pode ser vista a variação das taxas de

filtração em função do tempo de operação do filtro piloto. Como era previsto, a taxa média de filtração foi de $220 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$.

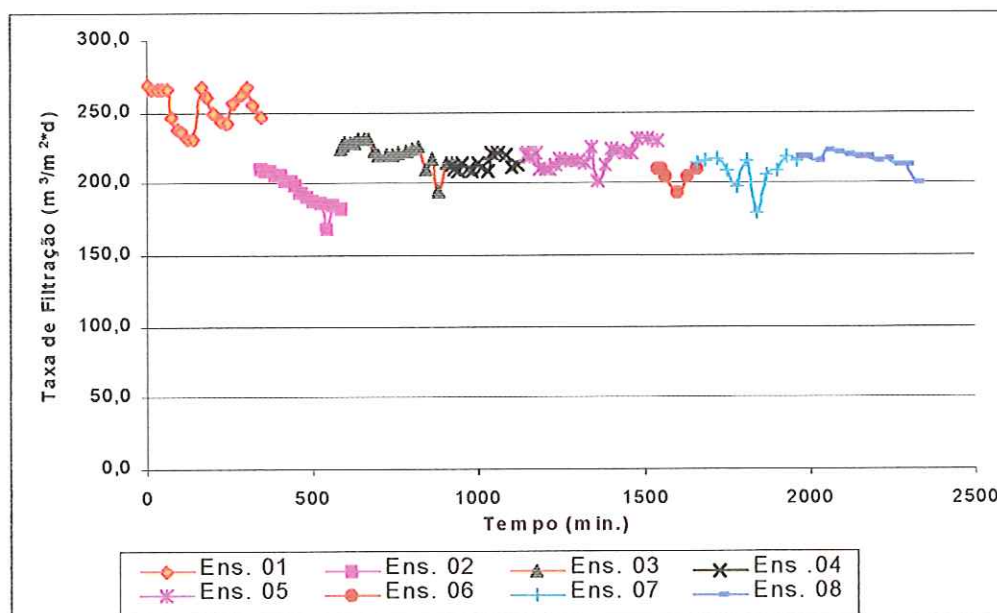


Figura 5.5 – Variação das Taxas de Filtração em função do tempo de operação do filtro piloto nos ensaios 1 a 8. Água Tipo I

5.2 – ENSAIOS COM A ÁGUA TIPO II

5.2.1 – TURBIDEZ

Como era de se esperar, no ensaio 9, primeiro ensaio com a água tipo II, o valor da turbidez da primeira coleta do efluente ($1,45 \text{ uT}$) foi maior que o da água bruta ($1,4 \text{ uT}$) e nas próximas coletas o valor a turbidez do efluente foi sempre menor que da água bruta. Os valores da turbidez da água tipo II no ensaio 9 variaram de $1,1$ a $1,4 \text{ uT}$.

Nos ensaios seguintes, ensaios 10 a 13 (figuras B2 a B5), dos 33 dados obtidos, apenas 4 valores de turbidez do efluente foram maiores que os valores de turbidez da água tipo II.

Os ensaios 14 e 15 (figuras B6 e B7) foram realizados como modo partida (vide Materiais e Métodos) e pôde-se perceber existência de um pico no valor da turbidez do efluente nos primeiros $3,5 \text{ min}$; como nos ensaios anteriores, ocorreu diminuição dos valores de turbidez do afluente ao filtro piloto em relação aos valores

de turbidez da água tipo II. Entretanto, esta diminuição foi menor ou até não existiu, podendo ser um orgício do fim da remoção de turbidez pela instalação de filtração, como pode ser visto na figura 5.6.

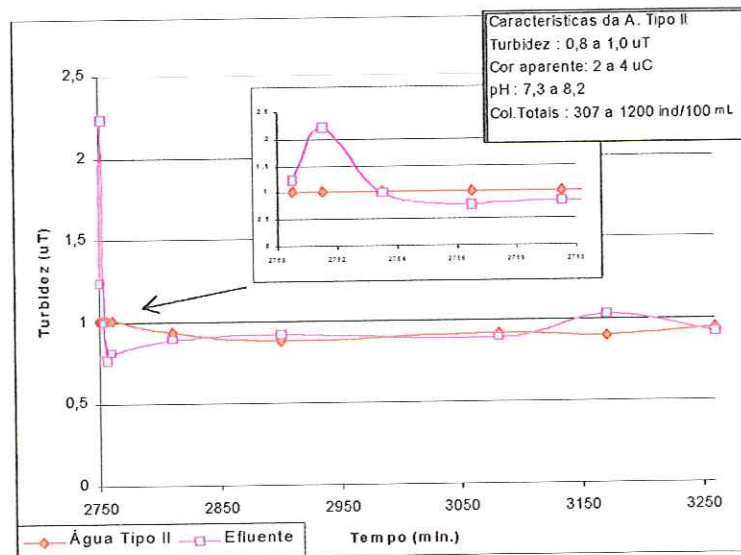


Figura 5.6 – Variação da Turbidez da Água Tipo II e do Efluente em função do tempo de operação no ensaio 15. Temp.: $25 \pm 1^\circ\text{C}$

5.2.2 – COR APARENTE

A variação dos valores de cor aparente da água tipo II (6 a 11 uC) e do efluente (4 a 7 uC) em função do tempo de operação do filtro piloto no ensaio 13 é mostrada na figura 5.7. A presença de microrganismos na água tipo II não influenciou na remoção de cor aparente pelo filtro piloto. Nas figuras B8 a B14 podem ser vistas as variações da cor aparente da água tipo II e do efluente em função do tempo de operação do filtro piloto nos ensaios 9 a 15.

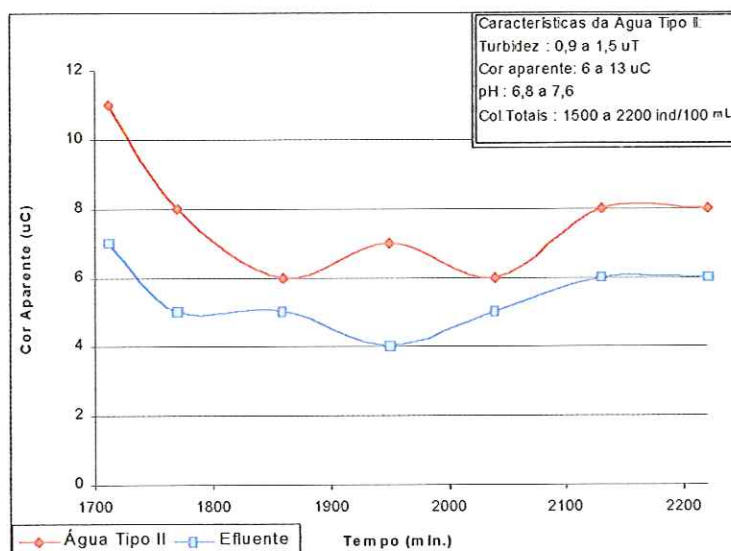


Figura 5.7 - Variação da Cor Aparente da água tipo II e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 13. Temp.: $25 \pm 1^\circ \text{C}$

5.2.3 – CARBONO ORGÂNICO TOTAL

As variações do carbono orgânico total da água tipo II e do efluente em função do tempo de operação do filtro nos ensaios 9 a 15 podem ser vistas nas figuras B22 a B28. Como era esperado, devido as características adsorptivas do carvão ativado, ocorreu uma diminuição do valor do COT na maioria das coletas feitas. Como visto na figura 5.8, quase todos os valores de COT do efluente foram menores que os da água tipo II (0,35 a 0,54 mg/L), exceto pelo valor da primeira coleta (0,74 mg/L), que pode ser explicado pelos ensaios tipo partida; nestes ensaios, monitorou-se os primeiros 10 min de cada ensaios e pode-se perceber que ocorre um pico no valor do COT e depois a estabilização em valores menores que da água bruta, como visto na figura 5.9.

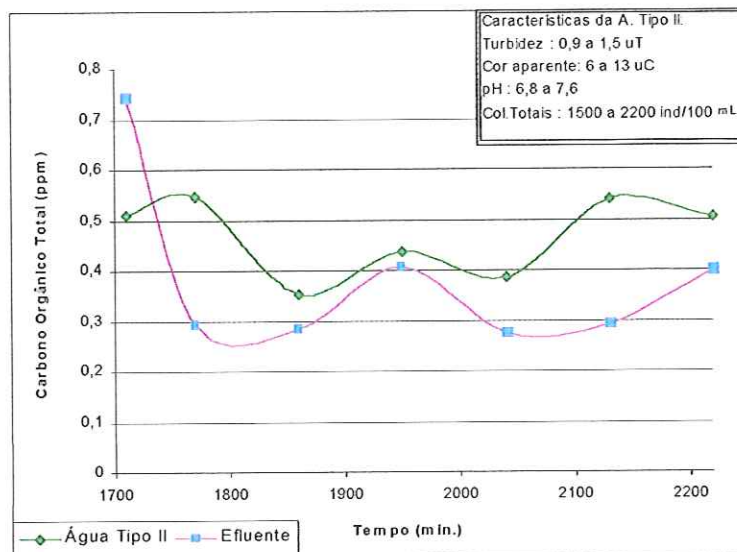


Figura 5.8 - Variação da Carbono Orgânico Total da Água Tipo II e do Efluente em função do tempo de operação no ensaio 13. Temp.: $25 \pm 1^\circ\text{C}$

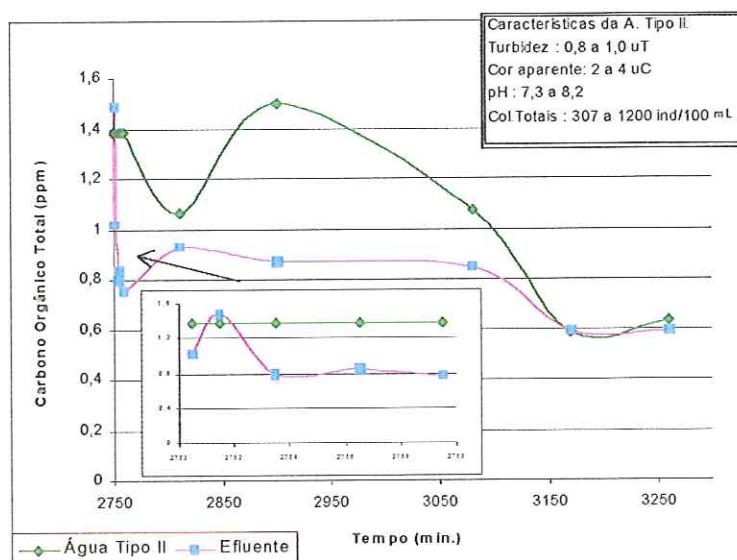


Figura 5.9 - Variação do Carbono Orgânico Total da Água Tipo II e do Efluente em função do tempo de operação no ensaio 15. Temp.: $25 \pm 1^\circ\text{C}$

5.2.4 – pH E CONCENTRAÇÃO DE PRATA

As variações dos valores de pH e da concentração de Prata na água tipo II e no efluente do filtro piloto podem ser vistas nas figuras B29 a B35. Como observado nos ensaios com a água tipo III, ocorreu diminuição nos valores de pH do efluente do filtro piloto. O desprendimento de prata ocorreu na maioria das amostras analisadas, sendo que no instante de coleta igual 600 min, no ensaio 11 (figura 5.10), a

concentração de prata no efluente foi maior que 0,05 mg/L. A partir de então os valores da concentração de prata ocorreram por várias vezes superiores a 0,05 mg/L (figura 5.11).

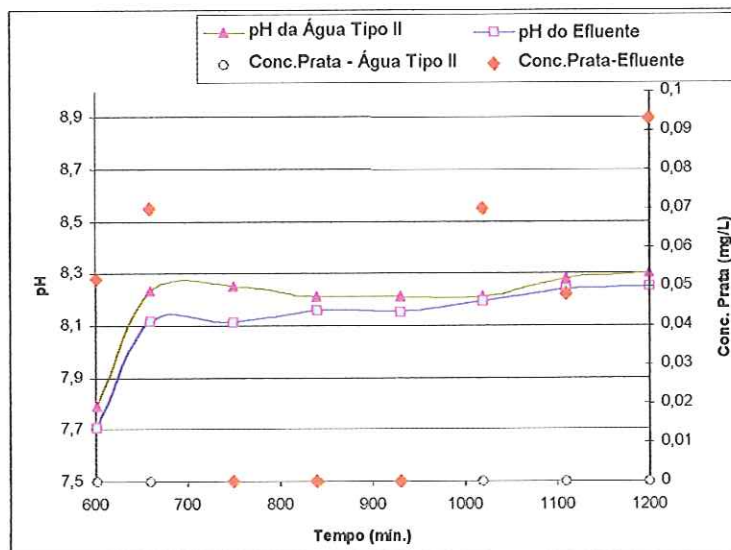


Figura 5.10 – Variação do pH e Concentração de Prata da água tipo II e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 11. Temp.: 25 ± 1° C

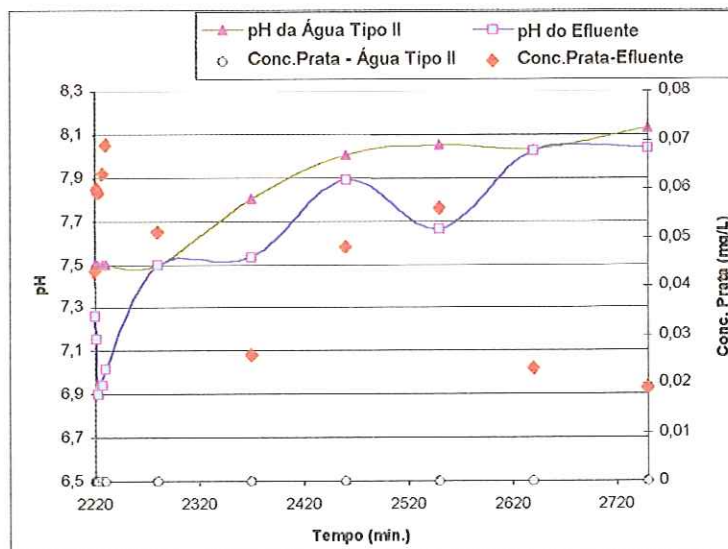


Figura 5.11 - Variação do pH e Concentração de Prata da água tipo II e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 14. Temp.: 25 ± 1° C

5.2.5 – COLIFORMES TOTAIS E FECAIS

A coleta de esgoto sanitário foi feita sempre no mesmo horário, objetivando coletar esgoto sanitário com as mesmas características, entretanto, devido a diversos fatores, dentre os quais chuvas, lavagens de piscina de clube, descargas eventuais de despejo de ^{Mx} indústria, etc., houve grande variação no NMP de Coliformes Totais/100mL dos ensaios, o que contribuiu para verificar o comportamento do CAGIP perante estas situações.

No ensaio 9, o NMP de Coliformes Totais variou de 2 a 4 NMP/100 mL e houve ausência de Coliformes Totais na água efluente (figura B36). Surpreendentemente, no tempo de operação igual a 390 min, o NMP de Coliformes Totais da água tipo II foi igual a 12,1, o que voltou a ocorrer, em NMP menor, no tempo de coleta igual 660 min. A partir de então, a maioria das amostras do efluente apresentou Coliformes Totais e Fecais; apenas algumas coletas apresentaram ausência de Coliformes Totais, das quais as coletas feitas no minuto inicial de cada ensaio, como visto na figura 5.12.

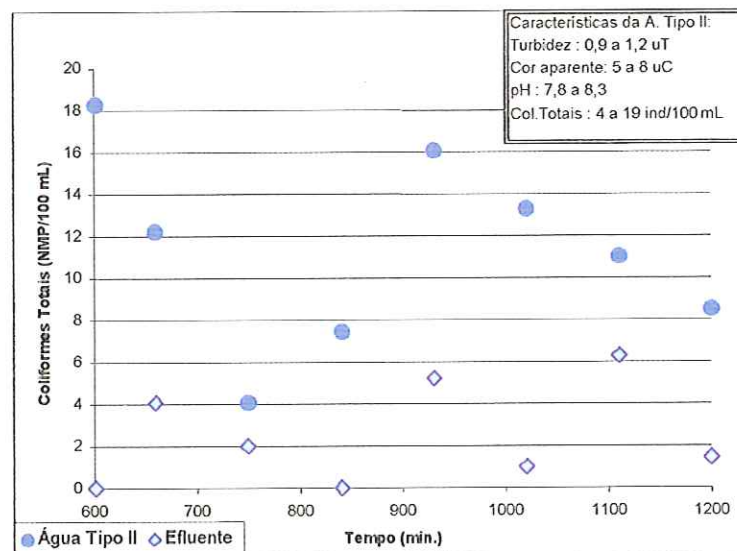


Figura 5.12 - Variação Coliformes Totais da Água Tipo II e do Efluente em função do tempo de operação no ensaio 11. Temp.: 25±1°C

A ausência de microrganismos na coleta inicial se deve ao fato da água de estudo ficar armazenada dentro do filtro, por um longo período de tempo (mínimo de 3 h.), e conseqüentemente não encontrar condições ideais de sobrevivência. As variações do MNP de Coliformes Totais e Fecais/100 mL da água tipo II e do

efluente em função do tempo de operação do filtro nos ensaios 9 a 15 podem ser vistas nas figuras B36 a B42 e B43 a B49, respectivamente.

5.2.6 – TAXAS VOLUMÉTRICAS E DE FILTRAÇÃO

A variação das taxas de filtração em função do tempo de operação do filtro piloto nos ensaios 9 a 15 pode ser vista na figura 5.13. Os ensaios com a água tipo II terminaram quando foi analisado o comportamento do CAGIP em relação aos parâmetros estabelecidos nos objetivos do trabalho, tendo o filtro piloto sido operado por 3260 min (54,3 h) e taxa volumétrica total de 3643,5 $L_{\text{filtrado}}/L_{\text{CAGIP}}$. Foram feitas duas lavagens na manta sintética: a primeira lavagem da manta sintética foi feita aos 1620 min (27 h) de operação do filtro piloto e taxa de filtração de 1850 $L_{\text{filtrado}}/L_{\text{CAGIP}}$ e a segunda lavagem da manta sintética foi feita aos 2040 min (34 h) de operação do filtro piloto e taxa volumétrica de 2465,3 $L_{\text{filtrado}}/L_{\text{CAGIP}}$

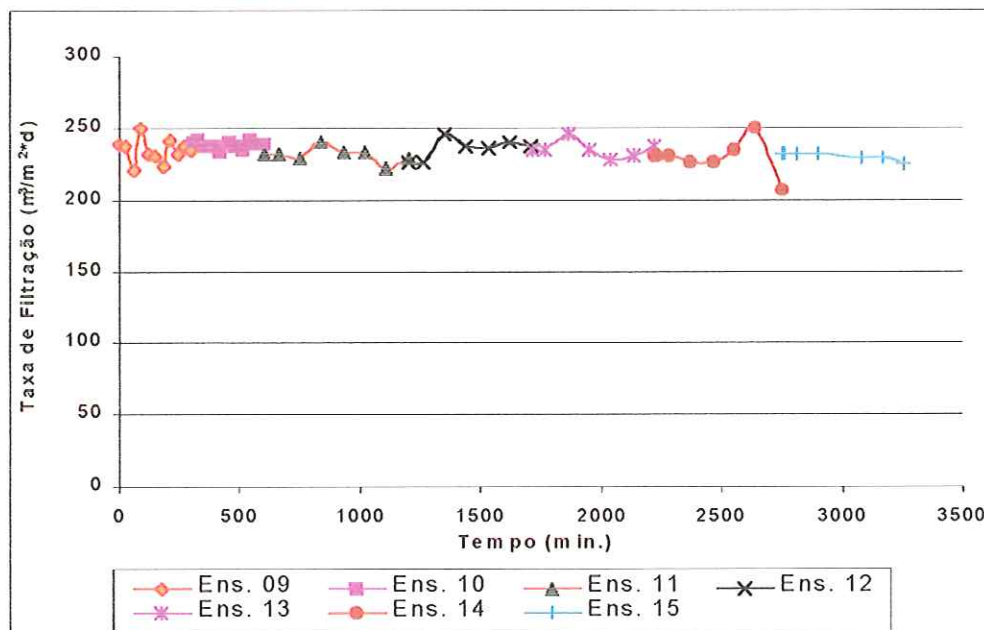


Figura 5.13 – Variação da Taxa de Filtração em função do tempo de operação do filtro piloto nos ensaios 9 a 15, com Água Tipo II

5.3 – ENSAIOS COM A ÁGUA TIPO III

5.3.1 – TURBIDEZ

Como descrito no capítulo de Materiais e Métodos, os ensaios com a água tipo III simularam o funcionamento de um filtro caseiro, sendo assim, ocorreu o monitoramento dos 10 min iniciais de operação do filtro piloto.

Apesar de todo o cuidado com a lavagem do CAGIP, no minuto inicial do ensaio 16, primeiro ensaio com a água tipo III, o valor da turbidez do efluente (1,4uT) foi maior que o da água bruta (1,1 u). No decorrer do ensaio ocorreu redução do valor da turbidez do afluente, até atingir um mínimo (0,70 uT aos 6,5 min), depois a estabilização da turbidez do efluente por volta de 0,8 uT, como pode ser visto na figura 5.14.

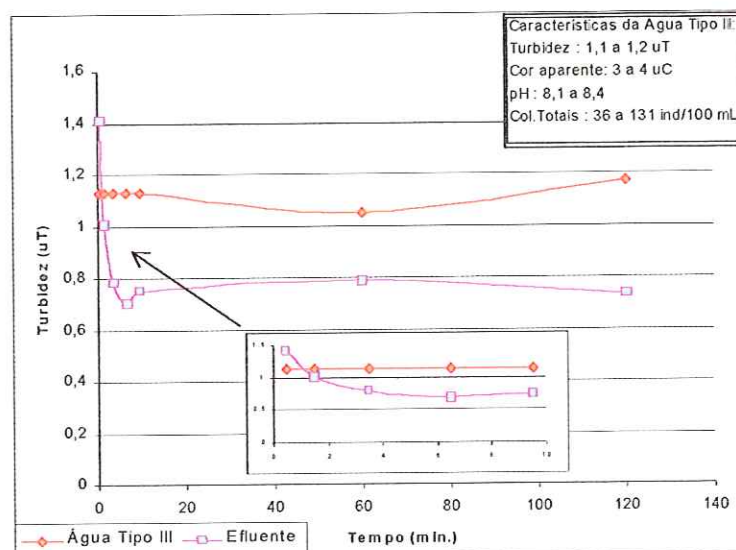


Figura 5.14 - Variação da Turbidez da Água Tipo III e do Efluente em função do tempo de operação no ensaio 16. Temp.: 25±1°C

Nos ensaios seguintes, ensaios 17 a 23, pode-se perceber que no instante 0,5 min dos ensaios, ocorreu o valor mínimo de turbidez no efluente (0,4 uT), que aumentou até atingir um valor máximo (1,4 uT) por volta dos 3,5 min e depois estabilizou com valores menores que o da água bruta (figura 5.15). A variação da turbidez da água tipo III e do efluente em função do tempo de operação do filtro nos ensaios 17 a 23 pode ser vista nas figuras C2 a C8.

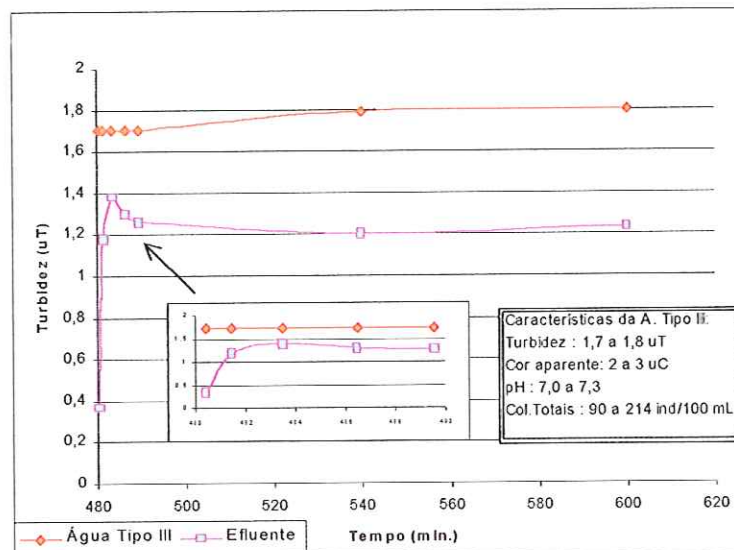


Figura 5.15 - Variação da Turbidez da Água Tipo III e do Efluente em função do tempo de operação no ensaio 20. Temp.: $25 \pm 1^\circ\text{C}$

5.3.2 – CARBONO ORGÂNICO TOTAL

Como analisado em relação à variação da turbidez, na coleta inicial do ensaio 16, o valor do Carbono Orgânico Total do efluente ($0,81 \text{ mg/L}$) foi maior que o da água tipo III ($0,56 \text{ mg/L}$), devido a não completa eficiência da lavagem. Após $6,5 \text{ min}$ os valores de COT do efluente ficaram menores que os da água bruta. As variações do Carbono Orgânico Total da água tipo III e do efluente em função do tempo de operação do filtro nos ensaios 16 a 23 podem ser vistas nas figuras C25 a C32.

A principal característica da variação do COT do efluente é a existência de um pico no valor das primeiras amostras analisadas, sendo que nos ensaios 16, 17, 18 e 19 o pico foi maior que o COT da água bruta, e após $6,5 \text{ min}$ os valores do COT do efluente foram menores que o da água bruta, como pode ser visto na figura 5.16. A análise da figura 5.16 permite concluir que após 960 min (16 h) e operação do filtro piloto e taxa volumétrica de $1066 \text{ L/L}_{\text{carvão}}$ o CAGIP permanecia adsorvendo matéria orgânica.

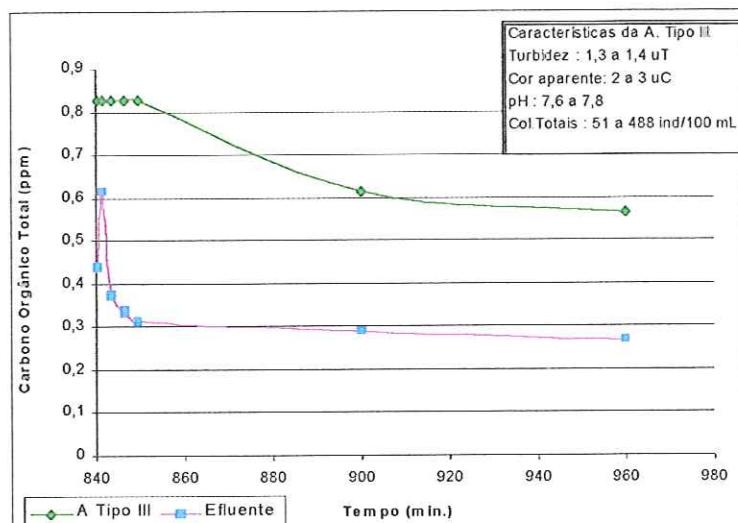


Figura 5.16 - Variação do Carbono Orgânico Total da Água Tipo III e do Efluente em função do tempo de operação no ensaio 23. Temp.: $25\pm 1^{\circ}\text{C}$

Um fato percebido nos ensaios 16, 17, 19 e 22 é que os valores do COT do efluente (0,59, 0,35, 0,80 e 0,56 mg/L, respectivamente) nas coletas feitas aos 60 min do ensaio foram maiores que os da água tipo III (0,47, 0,33, 0,32 e 0,52 mg/L; respectivamente), como pode ser visto na figura 5.17.

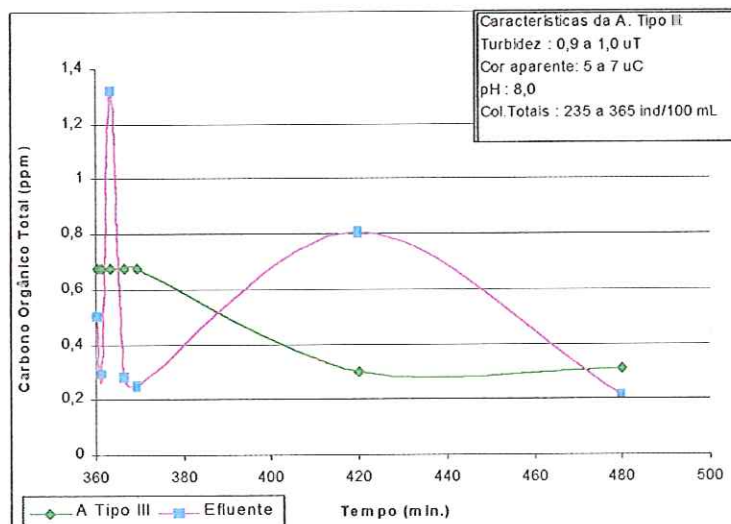


Figura 5.17 - Variação do Carbono Orgânico Total da Água Tipo III e do Efluente em função do tempo de operação no ensaio 19. Temp.: $25\pm 1^{\circ}\text{C}$

5.3.3 – pH E CONCENTRAÇÃO DE PRATA

Com relação a variação do pH da água tipo III e do efluente nos ensaios 16 a 23 (figuras C33 a C40) pode-se notar a diminuição do pH do efluente do filtro piloto.

Como pode ser visto nas figuras 5.18 e 5.19, nos primeiros 10 min ocorreu diminuição no valor do pH até um mínimo (3,5 min) e posterior estabilização em valores inferiores aos da água tipo III.

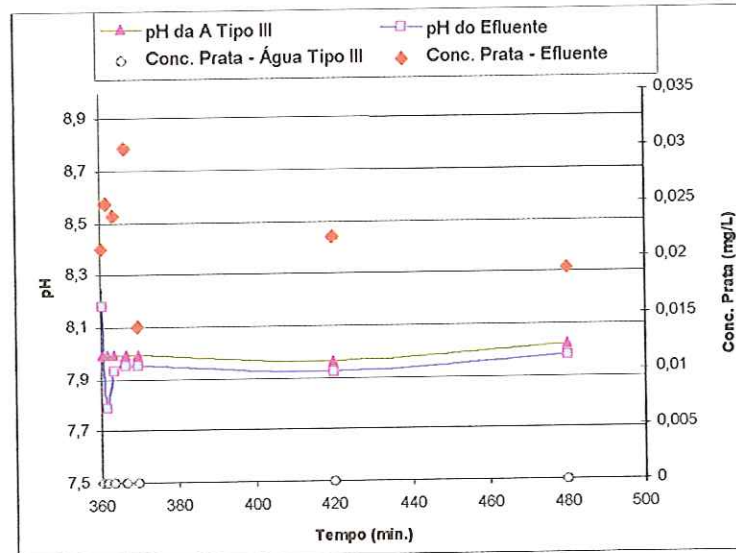


Figura 5. 18 - Variação do pH e Concentração de Prata da Água Tipo III e do Efluente em função do tempo de operação no ensaio 19. Temp.: $25\pm 1^{\circ}\text{C}$

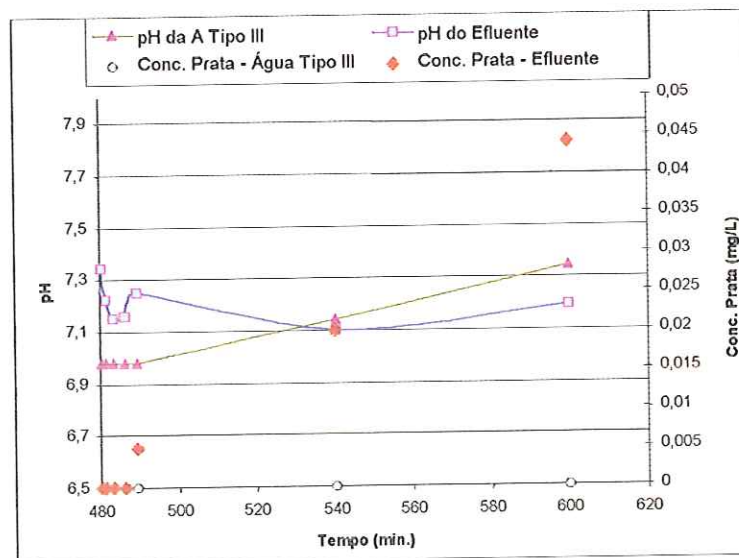


Figura 5. 19 - Variação do pH e Concentração de Prata da Água Tipo III e do Efluente em função do tempo de operação no ensaio 20. Temp.: $25\pm 1^{\circ}\text{C}$

Cabe salientar que nas amostras iniciais (10 min) os valores de pH do efluente mostram sensível alteração devido a influência do pH da água bruta do ensaio anterior. No ensaio 20, o valor do pH do efluente (7,3) foi maior que o da água tipo III (6,9) pois no ensaio 19 o valor do pH do efluente foi de 8,0.

O aparecimento de Prata no efluente ocorreu na amostra coletada aos 60 min do ensaio 16 (primeiro com a água tipo III) e depois em todas as amostras coletadas nos outros ensaios. O valor máximo da concentração de prata no efluente ocorreu no ensaio 22, no instante de coleta de 1,5 min, com pH de 7,8 e foi igual a 0,053 mg/L, acima do valor máximo (0,05 mg/L) permitido pela Portaria 36/GM de 1990. Também ocorreram valores da concentração de prata no efluente de 0,045 mg/L (pH de 7,9) e 0,044 mg/L (pH de 7,3) nos ensaios 20 (figura 5.19) e 23, respectivamente.

5.3.4 – COLIFORMES TOTAIS E FECAIS

No ensaio 16, a água tipo II apresentou NMP de Coliformes Totais e Fecais variando de 36 a 131 NMP/100 mL e de 9 a 31 NMP/100 mL, respectivamente. Nos instantes 0,5 e 3,5, o afluente apresentou respectivamente NMP de Coliformes Totais iguais a 21 e 6 NMP/100mL. Nos 10 min seguintes, o efluente apresentou ausência de Coliformes Totais e Fecais. Como percebido nos ensaios anteriores, no tempo de coleta igual a 60 min o efluente apresentou NMP de Coliformes Totais igual a 50 NMP/100 mL (Figura C41)

Semelhante ao ensaio 16, os ensaios 17, 18 e 19 apresentaram ausência ou baixo NMP de Coliformes Totais nas amostras coletas do efluente durante os primeiros 10 min, e presença de microrganismos nos instantes de coleta iguais a 60 e 120 min, como pode ser visto nas figuras C42, C43 e C44. Nos ensaios 17, 18 e 19, a variação do NMP Totais foi de: 10 a 25, 488 a 816 e 235 a 365 NMP/100mL, respectivamente.

Cabe salientar que nos primeiros 10 min do ensaio 19, o NMP de Coliformes Totais do efluente teve uma tendência de aumento (figura 5.20), o que também ocorreu nos ensaios seguintes. Os ensaios 20, 21, 22 e 22 apresentaram como principal característica a ausência de Coliformes Totais e Fecais apenas na primeira coleta, sendo que em todas as outras coletas a água efluente apresentou Coliformes Totais e Fecais; entretanto, todos os NMP de Coliformes Totais e Fecais do efluente foram menores que os da água tipo III (figura 5.21).

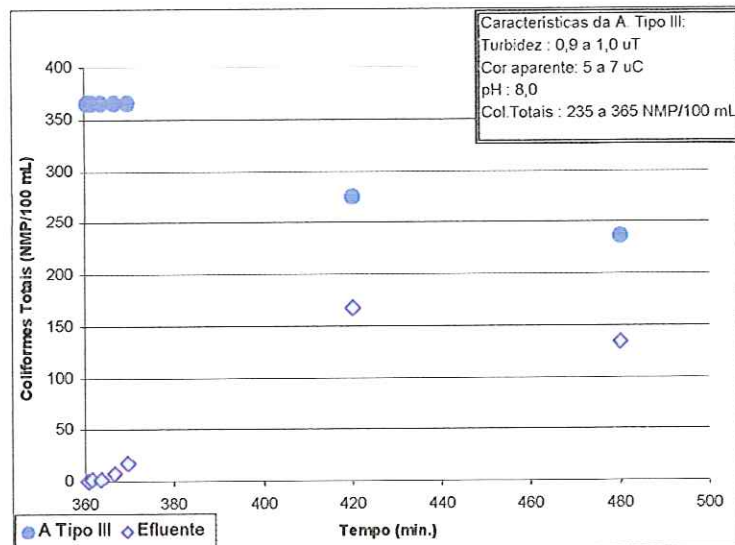


FIGURA 5.20 – Variação de Coliformes Totais da água tipo III e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 19. Temp.: $25 \pm 1^\circ \text{C}$

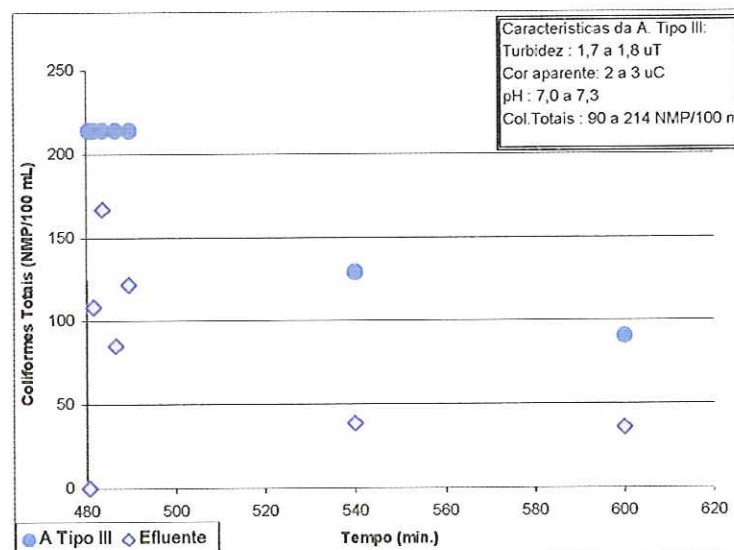


FIGURA 5.21 – Variação de Coliformes Totais da água tipo III e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 20. Temp.: $25 \pm 1^\circ \text{C}$

Nos ensaios 20, 21, 22 e 23, a variação do NMP do coliformes Totais foi de: 90 a 214, 300 a 609, 56 a 410 e 235 a 365 NMP/100mL, respectivamente (figuras C45, C46, C47 e C48). A variação dos Coliformes Fecais foi semelhante ao acima descrito, e pode ser vista nas figuras C49 a C56. Na figura 5.22 pode ser visto a variação do NMP de Coliformes Fecais/100 mL da água tipo III e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 22.

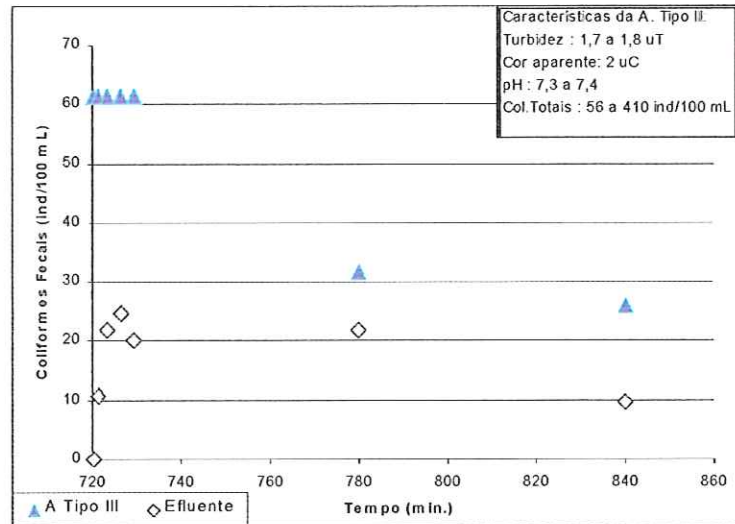
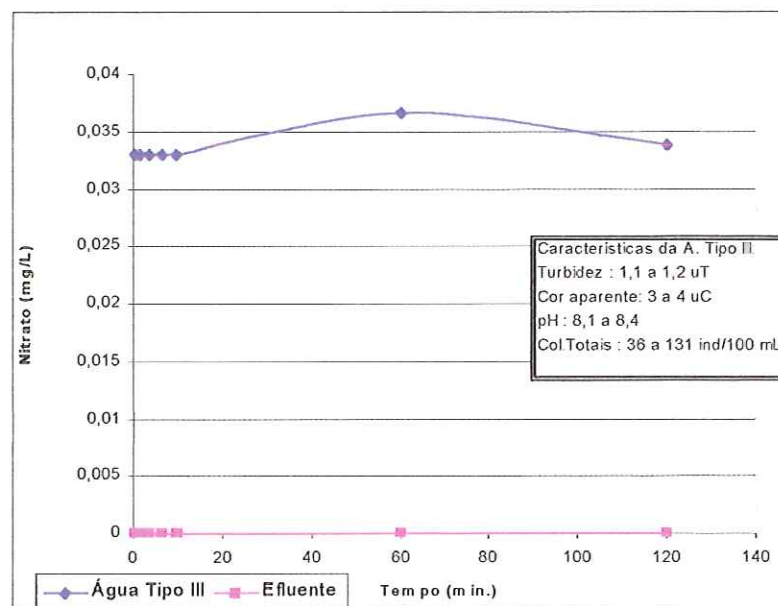


FIGURA 5.22 – Variação de Coliformes Fecais da água tipo III e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 22. Temp.: $25 \pm 1^\circ \text{C}$

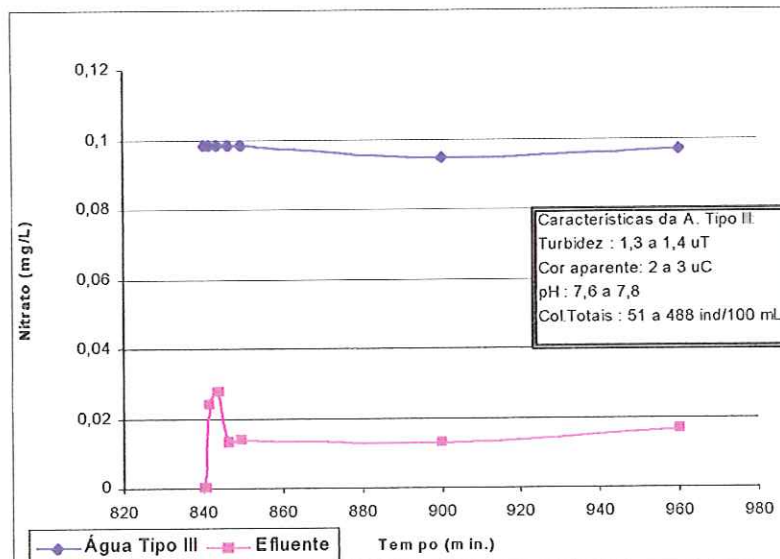
5.3.5 – NITRATO

Tendo em vista o aparecimento de Prata no efluente do filtro piloto resolveu-se monitorar o nitrato (mg/L), pois a impregnação da prata no carvão é feita com nitrato de prata, nas amostras coletadas no efluente e na água tipo III. Como visto na figura 5.23, no ensaio 16 houve completa remoção do nitrato existente na água tipo III (0,033 a 0,036 mg/L) pelo CAGIP,



Ensaio 5.23 – Variação do Nitrato (mg/L) da água tipo III e do efluente em função do tempo de operação do filtro piloto no ensaio 16. Temp.: $25 \pm 1^\circ \text{C}$.

Semelhante ao ensaio 16, no ensaio 23 também ocorreu remoção do nitrato existente na água tipo III (0,098 mg/L), como pode ser visto na figura 5.24:



Ensaio 5.24 – Variação do Nitrato(mg/L) da água tipo III e do efluente em função do tempo de operação do filtro piloto no ensaio 23. Temp.: 25±1°C.

5.3.6 – TAXAS VOLUMÉTRICAS E DE FILTRAÇÃO

Bem como no ensaios com as águas tipo I e II, a taxa de filtração média foi de 220 m³/m²*d. Devido ao menor tempo de operação do filtro piloto nos ensaios com a água tipo III, o taxa volumétrica total foi de 1066 L_{filtrado}/L_{CAGIP}, e não foi necessário efetivar-se a lavagem da manta. Na figura 5.25 pode ser visto variação da Taxa de Filtração em função do tempo de operação do filtro piloto nos ensaios 16 a 23.

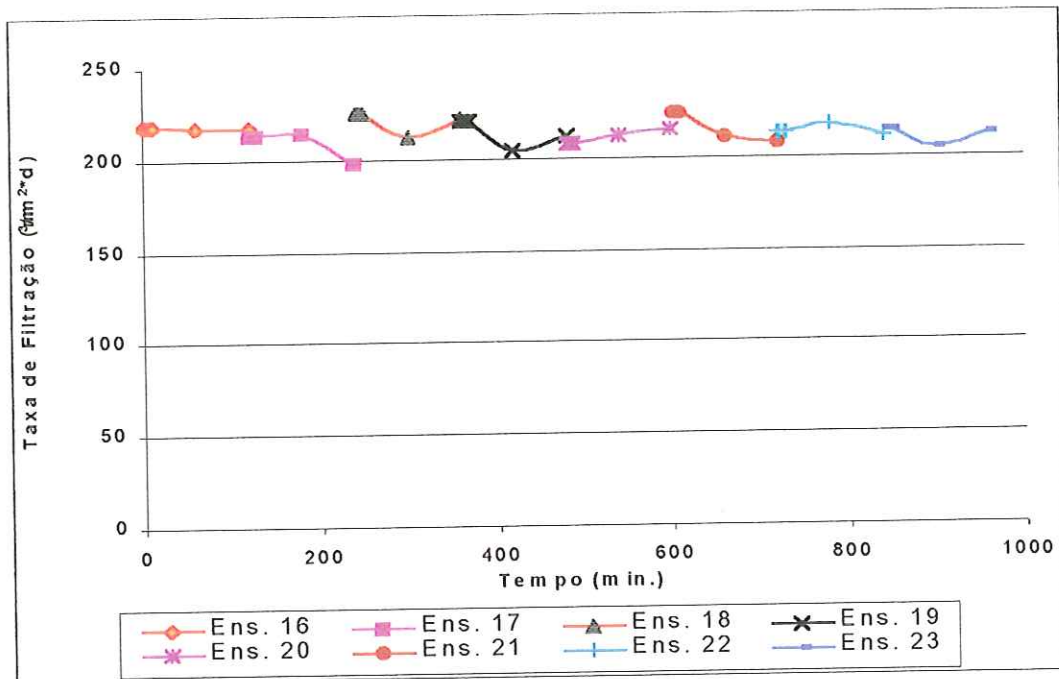


Figura 5.25 – Variação da Taxa de Filtração em função do tempo de operação do filtro piloto nos ensaios 16 a 23. Água tipo III

5.4 – MICROSCOPIA ELETRÔNICA

O objetivo principal da análise das amostras por microscopia eletrônica de varredura foi a identificação de possíveis microrganismos aderidos ao CAGIP após o contato deste com a água tipo II. Para tal, foram coletadas três amostras para serem observadas no microscópio eletrônico de varredura: CAGIP sem contato com água (como vem da orgústria), GAGIP após contato com a água tipo I (sem microrganismos) e CAGIP após contato com a água tipo II (com microrganismos).

Na figura D1 pode ser observado o CAGIP com aumento de 50x, na figura D2 podem ser observados os sítios de ativação existentes no CAGIP com aumento de 500x e finalmente na figura D3 pode ser visto a presença de sujeira no CAGIP, sem contato com água, devido ao processo de moagem e que requer um cuidadoso processo de lavagem do CAGIP (aumento 2.000x).

O mais importante foi a identificação de bactérias de morfologia de bacilos nas amostras que tinham tido contato com a água tipo II, conforme as figuras D6 e D7, com aumento de 5.000x e 10.000x, respectivamente. Também pode ser observado a colmatção do CAGIP devido o contato deste com as águas de estudo, que possuíam micro partículas e matéria orgânica (figuras D8, D9 e D10, com aumento de 10.000x, 500x e 1.000x, respectivamente).

Após ter sido notado a presença de microrganismos nas partículas de CAGIP procedeu-se um ensaio para verificar se os microrganismos estavam vivos ou apenas aderidos ao CAGIP. Uma amostra de CAGIP, após contato com a água tipo II, foi deixada em meio nutriente genérico para o cultivo de bactérias heterótrofas, constituído de peptona e extrato de carne. Após 24 horas em estufa a 30°C, foi constatado a atividade dos microrganismos aderidos ao CAGIP, pois ocorria a formação de biofilme no meio filtrante constituído por carvão ativado impregnado com prata.

Nas figuras 5.26 e 5.27 podem ser vistos as fotos obtidas no microscópio eletrônico de varredura.



Figura 5.26 – Sítios de ativação do CAGIP, sem contato com água
Aumento de 500x



Figura 5.27 – Após contato com água Tipo II verificou-se a presença de Bactérias de morfologia de bacilos.

5.5 - VERIFICAÇÃO DO DESPREENDIMENTO DA PRATA NA ÁGUA

Tendo em vista a comprovação do aparecimento de prata na água filtrada, achou-se conveniente a execução de um ensaio visando a determinação da influência do pH na dissolução da prata impregnada no carvão ativado. Os valores de pH estudados foram os seguintes: 6,0 , 6,5, 7,0, 7,5, 8,0, 8,5 e 9,0.

Os valores de pH foram obtidos adicionado-se HCl 0,1 M ou NaOH 0,1 M à água de estudo. Em cada frasco foram colocados 200 ml da água de estudo com diferentes valores de pH e adicionadas 15 g de CAGIP (na figura 5.28). Após agitação, os frascos foram deixados em repouso por 24 horas. Na tabela 5.2 podem ser vistos os valores de pH obtidos, as massas de CAGIP colocadas em cada frasco e os respectivos residuais da prata.



Figura 5.28 - Frascos com boca esmerilhada contendo água de estudo com diferentes valores de pH.

Tabela 5.2 - Medida de Prata dissolvida em função do valor do pH da água de estudo

Valores de pH	Massa de CAGIP	Residual de Prata(mg/L)
Branco	-	ND
6,0	14,93 g	0,050
6,5	14,94 g	0,068
7,0	15,20 g	0,058
7,5	14,90 g	0,027
8,0	14,96 g	0,036
8,5	14,90 g	0,042
9,0	15,00 g	0,015

Com base nesse ensaio, decidiu-se por utilizar o valor de pH entre 7,5 e 8,0 no ensaios com as águas tipo II e tipo III, pois a concentração máxima do íon prata, preconizada pela Portaria 36/Gm de 1990 (Padrão de Potabilidade no Brasil), que é de 0,05 mg/L.

5.6 – AFERIÇÃO DA LEITURA DO ESPECTROFOTÔMETRO DO LABORATÓRIO DE SANEAMENTO

Durante a execução dos ensaios foi constatada a presença de Prata na água afluyente em concentrações maiores que o permitido pelo padrão de potabilidade (0,05 mg/L). Sendo assim, algumas amostras coletadas foram analisadas no espectrofotômetro do laboratório de Saneamento da EESC e logo após foram levadas ao departamento de Química-USP onde também foram feitas leituras da concentração de Prata nestas amostras. O espectrofotômetro do departamento de Química foi calibrado com os mesmos padrões utilizados no espectrofotômetro do laboratório de Saneamento e o coeficiente de correlação da calibração foi de 0,9991, que foi considerado muito bom. Com os dados obtidos construiu-se um gráfico para melhor análise visual (figura 5.29) e a análise estatística destes dados apresentou coeficiente de correlação de 0,9714, que foi considerado satisfatório para a continuidade das análises no próprio espectrofotômetro do laboratório de Saneamento.

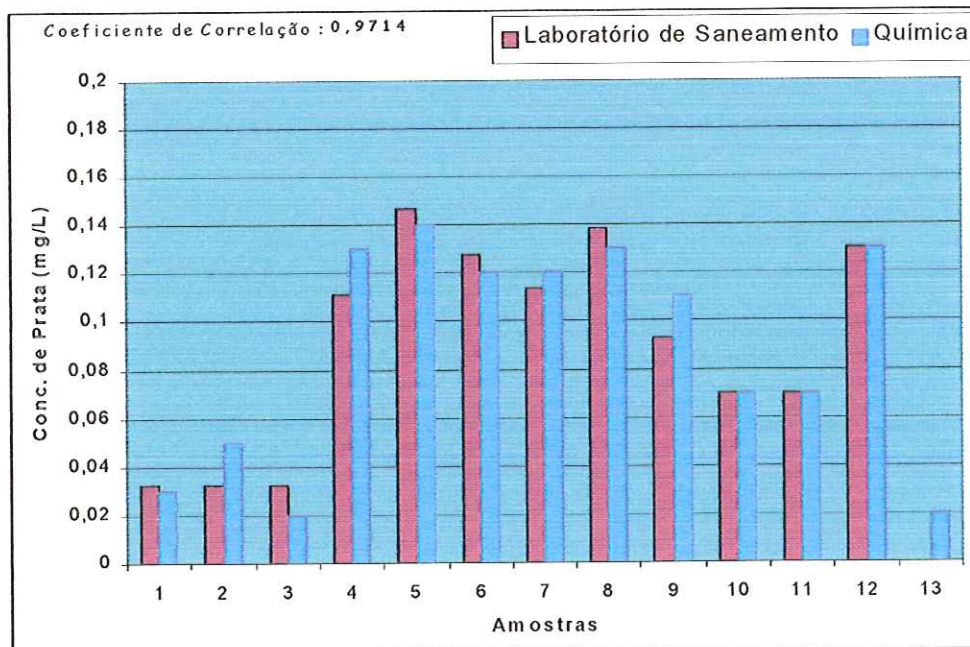


Figura 5.29 – Comparação das leituras do Espectrofotômetro do Laboratório de Saneamento com o do Departamento de Química

5.7 – DISCUSSÃO FINAL

O trabalho realizado desenvolveu uma instalação de filtração utilizando carvão ativado impregnado com prata e a partir desta estudou o comportamento do CAGIP em relação à adsorção em matéria orgânica, a ação desinfetante da Prata e ao desprendimento de Prata no efluente. Também foi simulado o uso da instalação desenvolvida como filtro caseiro. Sendo assim, os objetivos propostos para a realização do trabalho foram alcançados.

6 – Conclusões e Recomendações

Com base nos ensaios realizados com a água tipo I (turbidez de 1,1 uT, cor aparente de 6 uC e pH de 6,60), água tipo II (turbidez de 1,1 uT, cor aparente de 5 uC, pH de 7,8 e NMP de Coliformes Totais variando de 10 a 2400 /100mL) e água tipo III (turbidez de 1,5 uT, cor aparente de 5 uC, pH de 7,9 , NMP de Coliformes Totais variando de 10 a 816/100mL), com taxa de filtração média de 220 m³/m²*d e CAGIP da BRASILAC, conclui-se que:

- (a) O CAGIP apresentou propriedades adsorventes, pois ocorreu diminuição dos valores de carbono orgânico total e da absorvância no $\lambda=254$ nm do efluente do filtro piloto nos ensaios com a água tipo I, tipo II e tipo III;
- (b) A lavagem do CAGIP antes do início do primeiro ensaio para um determinado tipo de água, foi fundamental para o bom funcionamento do filtro piloto, tendo em vista que após a moagem do CAGIP, há presença de grande quantidade de material finos que pode prejudicar a qualidade do efluente no início do ensaio em questão;
- (c) O CAGIP apresentou propriedades desinfetantes, porém não suficientes para a completa desinfecção do efluente, como no ensaio 22 em que ocorreu redução de 410 para 79 do NMP de Coliformes Totais/100 mL da água tipo III após a filtração;
- (d) Observou-se o aparecimento do íon prata no efluente do filtro piloto em todos os ensaios realizados e como a água do poço não contém prata, logo estava ocorrendo despreendimento da prata impregnada no carvão ativado;

- (e) Para Taxa Volumétrica de 3982,43 Lfiltrado/Lcarvão, não cessaram as propriedades adsorventes do CAGIP, pois ainda ocorreu diminuição de carbono orgânico total e da absorvância no $\lambda=254$ nm do efluente ao filtro piloto;
- (f) A concentração de Prata no efluente em algumas amostras coletas foi maior que o permitido pela norma brasileira (0,05 mg/L de Ag) o que inviabilizaria a utilização deste carvão.
- (g) A Prata impregnada no CAGIP não impediu a formação de biofilme no filtro piloto e assim, não garantiu a completa desinfecção do efluente do filtro piloto.
- (h) O efluente do filtro piloto apresenta melhor qualidade após 3,5 min. do início de sua utilização;

Com base neste trabalho recomenda-se:

- (a) Análise do processo de impregnação da Prata no Carvão Ativado visando a redução do desprendimento da Prata impregnada e maior ação desinfetante;
- (b) Cuidadosa lavagem do CAGIP antes da realização dos ensaios;
- (c) No caso da utilização desta instalação desenvolvida como filtro domiciliar, descartar o efluente do filtro nos primeiros 3,5 min.;
- (d) Estudo de outras Taxas Volumétricas e de Filtração para a instalação desenvolvida;
- (e) Estudo da influência da retenção de matéria orgânica na desinfecção;

ANEXO A

Resultados dos ensaios com a água tipo I

Tabela A1 - Resultados do ensaio 1 realizado com a água tipo I

Ensaio 1 - Água Tipo I															
Dia 17/8/99				Características do Filtro Piloto:				d(mm) = 92							
início: 8:30								A(m ²) = 0,0066							
término: 14:10								H(m) = 0,24							
Tempo (min.)	Turbidez (uT)		Cor Aparente (uC)		Abs. λ = 254 nm		COT (mg/L)		pH		Conc. de Prata(mg/L)		Vazão (L/h)	Taxa (m ³ /m ² d)	
	A Tipo I	Amostra	A Tipo I	Amostra	A Tipo I	Amostra	A Tipo I	Amostra	A Tipo I	Amostra	A Tipo I	Amostra			
1	1,01	0,70	3	2	0,006	0,003		0,535	6,70	7,35		0,040			
15	1,15	0,81	4	3	0,008	0,005	0,538	0,416	6,78	7,21	-	0,060	73,94	266,95	
30	0,99	0,81	4	2	0,007	0,007				7,15			73,75	266,27	
45		0,75		3		0,008		0,505		7,08		0,097	73,88	266,74	
60	1,01	0,80	3	2	0,010	0,007	0,504	0,585	6,67		-	0,041	73,77	266,34	
75		0,74		2		0,008							68,40	246,95	
90		0,90		2		0,008				6,91			66,14	238,79	
105	1,12	0,69	5	1	0,016	0,008	0,871	0,691	6,75	6,93	-	0,140	65,55	236,66	
120		0,77		1		0,009				6,90			64,16	231,64	
140		0,64		3		0,011				6,95			64,01	231,10	
160	0,99	0,66	3	2	0,013	0,011	0,834	0,538	6,73	6,94	-	0,103	74,15	267,71	
180		0,66		2		0,010				6,92			72,35	261,21	
200		0,85		2		0,011				6,95			68,98	249,05	
220	0,97	0,86	4	3	0,014	0,012	0,570	0,475	6,77	6,90	-	0,146	67,65	244,25	
240		0,64		2		0,012				6,89			67,30	242,98	
260		0,84		3		0,013				6,95			71,17	256,95	
280	1,29	1,29	5	10	0,016	0,019	1,199	0,869	6,90	6,98	-	0,065	72,66	262,33	
300		3,77		13		0,022				6,92			74,15	267,71	
320		0,92		3		0,013				6,85			70,58	254,82	
340	1,20	0,69	5	3		0,013				6,97			68,50	247,31	

Vol. Total filtrado = Somatória dos volumes determinados entre cada análise.

Vol Total filtrado no ensaio1= **395,83 litros**

Volume acumulado = 395,83 litros

Taxa Volumétrica Total = VfiltradoTotal/Vcarvão

onde Vcarvão = 0,87746 litros

(porosidade = 0,45)

Taxa Volumétrica Total = **451,11 Lfiltro/Lcarvão**

Tabela A2 - Resultados do ensaio 2 realizado com a água tipo I

Ensaio 2 - Água Tipo I														
Dia 19/8/99			Características do Filtro Piloto:											
início: 9:00			d(mm) = 92		A(m ²) = 0,0066		H(m) = 0,24							
término: 13:00														
Tempo (min.)	Turbidez (uT)		Cor Aparente (uC)		Abs. λ = 254 nm		COT (mg/L)		pH		Conc. de Prata(mg/L)		Vazão (L/h)	Taxa (m ³ /m ² d)
	A Tipo I	Amostra	A Tipo I	Amostra	A Tipo I	Amostra	A Tipo I	Amostra	A Tipo I	Amostra	A Tipo I	Amostra		
341	0,71	0,79	7	3	0,012	0,007			7,69	6,59				
355	1,19	0,71	4	3	0,008	0,005			7,53	7,10			58,01	209,44
370	1,00	0,97	4	5	0,009	0,007	0,675	1,057	7,68	7,26	-	-	57,86	208,90
385		0,88		4		0,005				7,34			57,20	206,52
400	1,00	0,76	2	4	0,009	0,005			7,64	7,42			57,23	206,62
415		0,78		2		0,006		0,447		7,43		-	56,01	202,22
430		0,85		1		0,006				7,45			55,76	201,32
445	0,91	0,73	3	6	0,009	0,006	0,641	0,380	7,74	7,43	0,008	0,050	55,10	198,93
460		0,86		3		0,005				7,48			53,70	193,88
480		0,74		4		0,005				7,54			52,70	190,27
500	0,92	0,66	5	3	0,006	0,004	0,647	0,431	7,85	7,60	-	0,042	52,17	188,36
520		0,63		3		0,004				7,59			51,50	185,94
540		0,71		4		0,005		0,432		7,63		-	46,70	168,61
560	1,10	0,86	3	3	0,003	0,002			7,95	7,62			51,12	184,57
580		0,64		3		0,003				7,62			50,67	182,94

Vol. Total filtrado = Somatória dos volumes determinados entre cada análise.
 Vol Total filtrado no ensaio2= **213,37 litros** Volume acumulado = 609,20 litros
 Taxa Volumétrica Total = $V_{\text{filtradoTotal}}/V_{\text{carvão}}$ onde $V_{\text{carvão}} = 0,87746$ litros (porosidade = 0,45)
 Taxa Volumétrica Total = **694,28 Lfiltro/Lcarvão**

Tabela A3 - Resultados do ensaio 3 realizado com a água tipo I

Ensaio 3 - Agua Tipo I															
Dia 20/8/99		Características do Filtro Piloto:				d(mm) = 92									
início: 9:15		término: 14:55				A(m ²) = 0,0066		H(m) = 0,24							
Tempo (min.)	Turbidez (uT)		Cor Aparente (uC)		Abs. λ = 254 nm		COT (mg/L)		pH		Conc. de Prata(mg/L)		Vazão (L/h)	Taxa (m ³ /m ² d)	
	A Tipo I	Amostra	A Tipo I	Amostra	A Tipo I	Amostra	A Tipo I	Amostra	A Tipo I	Amostra	A Tipo I	Amostra			
581	1,47	0,66	4	1	0,005	0,001	0,812	0,583	6,42	6,68	-	-			
588		0,89		6		0,003		0,548	6,52	6,65		0,054	63,02	227,53	
595	1,12	0,67	7	7	0,004	0,001			6,79	6,63			63,1	227,82	
610	1,19	0,81	9	4	0,004	0,001			6,60	6,64			63,4	228,90	
625		0,65		7		0,002				6,67			63,42	228,97	
640	0,98	0,66	12	8	0,006	0,002	0,869	0,671	6,69	6,67	-	0,048	64	231,07	
655		0,98		9		0,002				6,58			64,15	231,61	
670		0,85		9		0,003			6,62	6,56			64,1	231,43	
685	1,25	0,61	16	10	0,005	0,002				6,56			61,68	222,69	
700		0,58		10		0,002			6,65	6,54	-	-	61,14	220,74	
720		0,94		4		0,002				6,54			61,15	220,78	
740	1,29	0,77	7	5	0,007	0,003	0,550	0,664	6,70	6,66			61	220,24	
760		0,67		5		0,002				6,61			61,2	220,96	
780		0,69		4		0,002				6,57			61,7	222,76	
800	0,98	0,70	7	4	0,004	0,001	0,926	0,376	6,81	6,63	-	0,044	61,99	223,81	
820		0,75		5		0,001				6,66	-	0,016	62,54	225,80	
840		0,54		5		0,002				6,63			58,34	210,63	
860	0,96	0,59	10	5	0,004	0,002	0,692	0,637	6,81	6,67			60	216,63	
880		0,60		8		0,001				6,65			54,07	195,22	
900		0,63		7		0,002				6,70			59,3	214,10	
920	0,99	0,71	7	3	0,004	0,001	0,655	0,842	6,85	6,73		0,034	59,43	214,57	

Vol. Total filtrado = Somatória dos volumes determinados entre cada análise.
 Vol Total filtrado no ensaio3= **345,43 litros** Volume acumulado = 954,63 litros
 Taxa Volumétrica Total = VfiltradoTotal/Vcarvão onde Vcarvão = 0,87746 litros (porosidade = 0,45)
 Taxa Volumétrica Total = **1087,95 Lfiltro/Lcarvão**

Tabela A4 - Resultados do ensaio 4 realizado com a água tipo I

Ensaio 4 - Água Tipo I Dia 23/8/99 início: 10:35 término: 14:15														
Características do Filtro Piloto: d(mm) = 92 A(m ²) = 0,0066 H(m) = 0,24														
Tempo (min.)	Turbidez (uT)		Cor Aparente (uC)		Abs. λ = 254 nm		COT (mg/L)		pH		Conc. de Prata(mg/L)		Vazão (L/h)	Taxa (m ³ /m ² d)
	A Tipo I	Amostra	A Tipo I	Amostra	A Tipo I	Amostra	A Tipo I	Amostra	A Tipo I	Amostra	A Tipo I	Amostra		
921	0,99	0,63	5	1	0,004	0,001	0,801	0,626	6,57	6,62	-	0,043	58,31	210,52
928		0,65		2		0,002		0,648	6,70	6,58		0,054	57,86	208,90
935	1,00	0,64	4	2	0,004	0,002			6,70	6,57			59,43	214,55
950	1,02	0,68	5	2	0,004	0,002			6,78	6,56			58,24	210,28
965		0,75		1		0,002				6,61			57,85	208,86
980	1,19	0,70	3	1	0,004	0,002	0,422	0,513	6,84	6,67	-	-	59,42	214,52
995		0,68		2		0,002				6,69			58,71	211,96
1010		0,69		2		0,002				6,69			57,90	209,03
1025	0,93	0,74	3	1	0,004	0,002			6,91	6,79			61,37	221,57
1040		0,74		1		0,002		0,815	6,90	6,79		-	61,21	221,01
1060		0,79		1		0,002				6,81			60,87	219,78
1080	1,03	0,74	4	2	0,004	0,003	0,578	0,714	7,05	6,90	-	-	58,58	211,51
1100		0,81		2		0,002				6,90			59,02	213,07
1120		0,86		2		0,002				6,95				
1140	1,07	0,87	5	2	0,005	0,002	0,597	0,686	7,17	6,99	-	-		

Vol. Total filtrado = Somatória dos volumes determinados entre cada análise.			
Vol Total filtrado no ensaio4=	196,68 litros	Volume acumulado =	1151,31 litros
Taxa Volumétrica Total = VfiltradoTotal/Vcarvão		onde Vcarvão =	0,87746 litros (porosidade = 0,45)
Taxa Volumétrica Total =	1312,09 Lfiltrado/Lcarvão		

Tabela A5 - Resultados do ensaio 5 realizado com a água tipo I

Ensaio 5 - Água Tipo I		Características do Filtro Piloto:		d(mm) = 92		A(m ²) = 0,00664741		H(m) = 0,24						
Dia 25/8/99		início: 8:55		término: 15:35										
Tempo (min.)	Turbidez (uT)		Cor Aparente (uC)		Abs. λ = 254 nm		COT (mg/L)		pH		Conc. de Prata(mg/L)		Vazão (L/h)	Taxa (m ³ /m ² d)
	A Tipo I	Amostra	A Tipo I	Amostra	A Tipo I	Amostra	A Tipo I	Amostra	A Tipo I	Amostra	A Tipo I	Amostra		
1141	1,20	0,81	7	1	0,009	0,002	0,970	0,916	6,42	6,70	-	0,052		
1148		0,76		4		0,006				6,75			61,31	221,36
1155	1,13	0,85	4	3	0,015	0,014			6,53	6,61			60,44	218,21
1170	1,06	0,76	5	3	0,008	0,013				6,56			61,29	221,28
1185		0,70		2		0,014				6,68			58,15	209,95
1200	0,78	0,81	10	5	0,024	0,007	0,696	0,640	7,01	7,73	-	-	58,09	209,73
1215		1,01		3		0,016				6,90			58,06	209,62
1230		0,94		6		0,015				6,74			59,00	213,02
1245	1,26	0,65	7	4	0,016	0,013			6,85	6,68			60,02	216,70
1260		0,82		4		0,012				6,62			59,89	216,23
1280		1,24		4		0,013				6,87			59,80	215,90
1300	1,50	0,77	7	5	0,015	0,011	0,843	0,460	7,06	6,85	-	0,028	59,62	215,25
1320		1,12		7		0,014				6,93			59,50	214,82
1340		1,20		5		0,012				6,84			62,54	225,80
1360	1,37	0,88	9	5	0,018	0,013			7,06	6,76			56,10	202,54
1380		0,64		5		0,010				6,77			58,91	212,69
1400		0,80		5		0,010				6,89			62,14	224,35
1420	1,04	1,05	7	4	0,015	0,009			7,06	6,86			61,80	223,12
1440		1,01		4		0,014				6,89			61,17	220,85
1460		0,64		4		0,010				6,82			61,43	221,79
1480	0,94	0,80	6	4	0,012	0,015	0,721	0,732	7,01	6,88	-	0,013	64,18	231,72
1510		1,45		9		0,018				6,88			63,96	230,92
1540	1,35	0,79		8		0,013	0,612	0,601	7,18	6,95	-	-	63,58	229,55

Vol. Total filtrado = Somatória dos volumes determinados entre cada análise.			
Vol Total filtrado no ensaio5=	404,00	litros	Volume acumulado = 1555,30 litros
Taxa Volumétrica Total = VfiltradoTotal/Vcarvão			onde Vcarvão = 0,8774586 litros (porosidade = 0,45)
Taxa Volumétrica Total =	1772,51	Lfiltro/Lcarvão	

Tabela A6 - Resultados do ensaio 6 realizado com a água tipo I

Ensaio 6 - Água Tipo I														
Dia 17/9/99			Características do Filtro Piloto:			d(mm) = 92								
início: 10:30						A(m ²) = 0,0066								
término: 12:30						H(m) = 0,24								
Tempo (min.)	Turbidez (uT)		Cor Aparente (uC)		Abs. λ = 254 nm		COT (mg/L)		pH		Conc. de Prata(mg/L)		Vazão (L/h)	Taxa (m ³ /m ² d)
	A Tipo I	Amostra	A Tipo I	Amostra	A Tipo I	Amostra	A Tipo I	Amostra	A Tipo I	Amostra	A Tipo I	Amostra		
1541	1,57	0,37	5	2	0,012	0,008			6,90	6,79	-	0,055		
1548		0,78		4		0,006				6,80			58,06	209,62
1565	1,57	0,93	3	2	0,010	0,005			7,10	6,81	-	0,066	56,87	205,32
1600	1,72	0,99	4	1	0,012	0,008			7,08	6,88	-	0,056	53,41	192,83
1630	1,78	1,22	3	1	0,010	0,008			7,07	6,88	-	0,021	56,73	204,82
1660	1,64	0,80	3	1	0,014	0,010			7,06	6,88	0,002	-	58,21	210,16
Final da Carta Hidráulica Disponível														
<p>Vol. Total filtrado = Somatória dos volumes determinados entre cada análise.</p> <p>Vol Total filtrado no ensaio6= 111,51 litros Volume acumulado = 1666,81 litros</p> <p>Taxa Volumétrica Total = VfiltradoTotal/Vcarvão onde Vcarvão = 0,87746 litros (porosidade = 0,45)</p> <p>Taxa Volumétrica Total = 1899,59 Lfiltro/Lcarvão</p>														

Tabela A7 - Resultados do ensaio 7, realizado com a água tipo I

Ensaio 7 - Água Tipo I														
Dia 27/9/99			Características do Filtro Piloto:											
início: 8:00			d(mm) =		92		A(m ²) =		0,0066		H(m) =		0,24	
término: 12:00														
Tempo (min.)	Turbidez (uT)		Cor Aparente (uC)		Abs. λ = 254 nm		COT (mg/L)		pH		Conc. de Prata(mg/L)		Vazão (L/h)	Taxa (m ³ /m ² d)
	A Tipo I	Amostra	A Tipo I	Amostra	A Tipo I	Amostra	A Tipo I	Amostra	A Tipo I	Amostra	A Tipo I	Amostra		
1661	0,90	0,42	3	3	0,008	0,008	0,573	0,367	7,76	7,51	-	0,102		
1685	0,98	0,79	4	2	0,015	0,010	0,383	0,354	7,88	7,80	-	0,055	59,77	215,80
1720	0,92	0,70	4	3	0,014	0,011	0,328	0,350	7,98	7,88	-	0,035	60,30	217,71
1750	0,96	0,75	3	2	0,012	0,012	0,439	0,516	8,02	7,99	-	0,028	57,72	208,39
1780	0,92	0,62	3	1	0,015	0,010	0,433	0,399	8,18	8,03	-	-	54,87	198,10
1810	1,06	0,88	7	5	0,016	0,015	0,832	0,806	8,12	7,98	-	0,033	59,92	216,34
1840	0,99	0,78	5	3	0,016	0,013	1,003	0,631	8,02	8,00	-	-	49,77	179,70
1870	1,08	0,87	5	2	0,011	0,013	0,614	0,399	8,12	7,97	-	0,052	57,14	206,31
1900	1,12	0,62	4	2	0,017	0,013	0,315	0,589	8,08	8,00	-	-	58,03	209,50
1930	1,03	0,68	4	4	0,016	0,014	0,938	0,751	8,14	8,15	-	0,078	60,70	219,15
1960	1,38	0,74	9	5	0,020	0,017	0,810	0,878	8,09	8,07	-	0,085	59,92	216,34

Vol. Total filtrado = Somatória dos volumes determinados entre cada análise.			
Vol Total filtrado no ensaio7=	288,12 litros	Volume acumulado =	1954,93 litros
Taxa Volumétrica Total = VfiltradoTotal/Vcarvão		onde Vcarvão =	0,87746 litros (porosidade = 0,45)
Taxa Volumétrica Total =	2227,95 Lfiltro/Lcarvão		

Tabela A8 - Resultados do ensaio 8, realizado com a água tipo I

Ensaio 8 - Água Tipo I														
Dia 29/9/99														
início: 6:10														
término: 12:10														
Características do Filtro Piloto: d(mm) = 92														
A(m ²) = 0,00665														
H(m)= 0,24														
Tempo (min.)	Turbidez (uT)		Cor Aparente (uC)		Abs. λ = 254 nm		COT (mg/L)		pH		Conc. de Prata(mg/L)		Vazão (L/h)	Taxa (m ³ /m ² d)
	A Tipo I	Amostra	A Tipo I	Amostra	A Tipo I	Amostra	A Tipo I	Amostra	A Tipo I	Amostra	A Tipo I	Amostra		
1961	0,67	0,60	3	1	0,005	0,005	0,860	1,445	6,58	7,19	-	0,080		
1985	0,95	0,58	4	1	0,010	0,007	0,628	0,450	6,64	6,20	-	0,049	60,66	219,00
2020	0,77	0,59	3	2	0,009	0,009	1,210	2,143	6,67	6,61	-	-	59,94	216,41
2050	0,83	0,50	3	1	0,008	8,000	0,494	0,320	6,64	6,60	-	0,032	61,70	222,75
2080	0,89	0,56	2	1	0,008	0,007	0,444	0,365	6,65	6,60	-	-	61,17	220,86
2110	0,85	0,55	3	1	0,009	0,010	0,584	0,392	6,76	6,63	-	-	61,01	220,26
2140	0,88	0,62	2	1	0,009	0,008	0,369	0,325	6,73	6,61	-	0,044	60,61	218,81
2170	1,09	0,73	3	2	0,010	0,011	0,400	0,317	6,76	6,74	-	-	60,71	219,18
2200	0,87	0,88	4	5	0,009	0,011	1,102	0,711	6,83	6,69	-	-	59,94	216,41
2230	0,84	0,52	3	3	0,009	0,010	0,545	0,891	6,82	6,75	-	0,058	60,07	216,88
2260	0,74	0,59	4	1	0,012	0,007	0,593	0,567	6,94	6,83	-	0,039	59,17	213,63
2290	0,75	0,64	3	3	0,009	0,010	0,693	0,754	6,84	6,81	-	0,002	58,94	212,80
2320	0,82	0,71	4	2	0,011	0,009	0,983	0,403	6,98	6,82	-	0,035	55,59	200,70

Vol. Total filtrado = Somatória dos volumes determinados entre cada análise.			
Vol Total filtrado no ensaio8=	358,68 litros	Volume acumulado =	2313,61 litros
Taxa Volumétrica Total = VfiltradoTotal/Vcarvão		onde Vcarvão =	0,87746 litros (porosidade = 0,45)
Taxa Volumétrica Total =	2636,72 Lfiltro/Lcarvão		



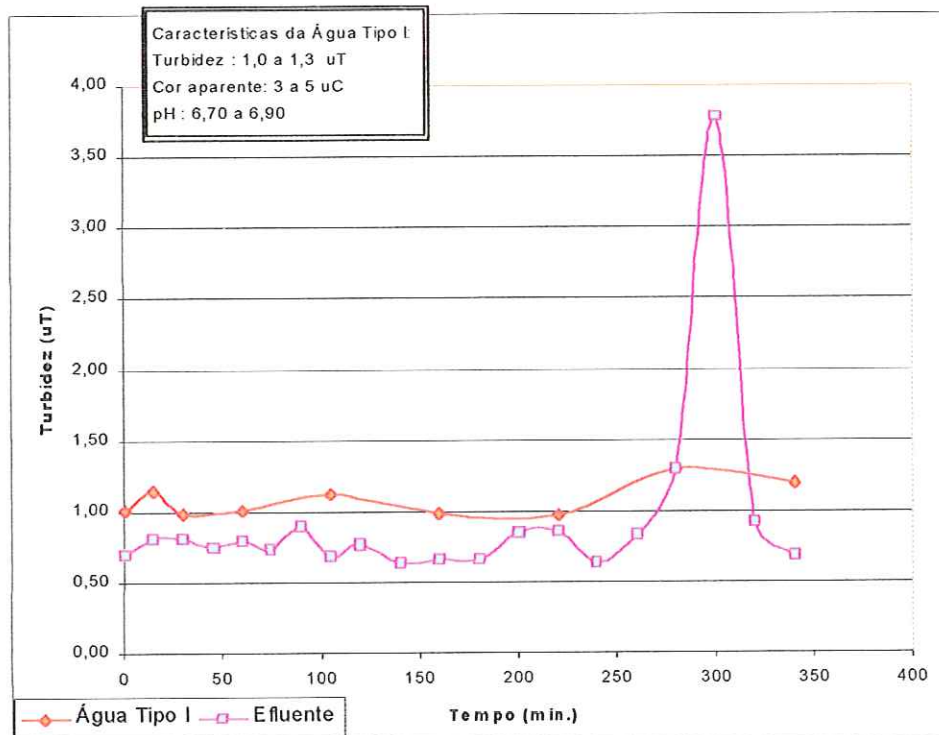


FIGURA A1 – Variação da Turbidez da água tipo I e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 1. Temp.: 25 ± 1° C

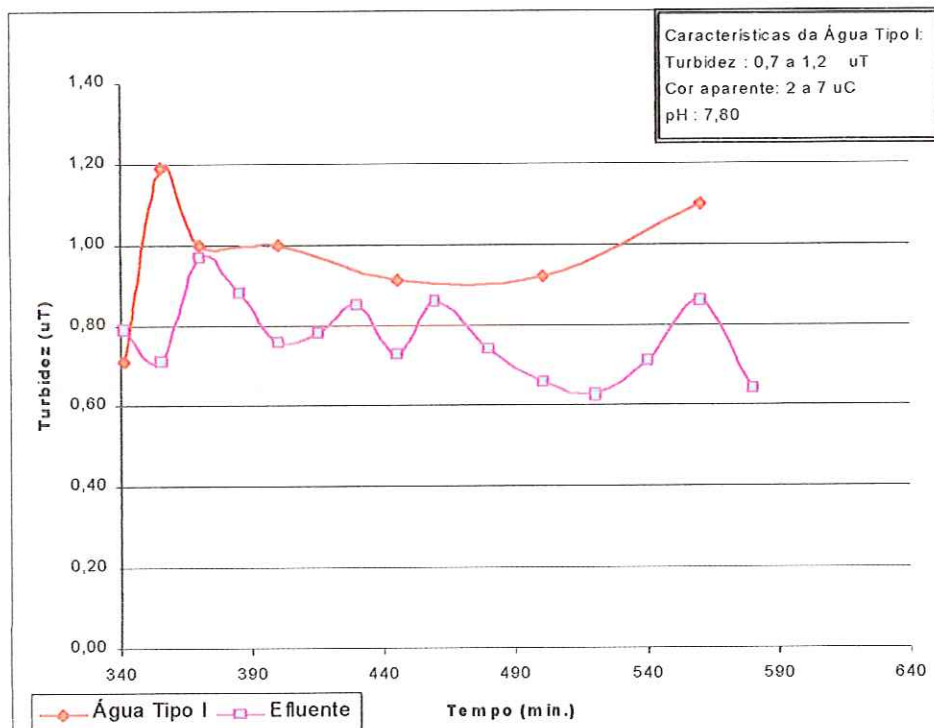


FIGURA A2 – Variação da Turbidez da água tipo I e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 2. Temp.: 25 ± 1° C

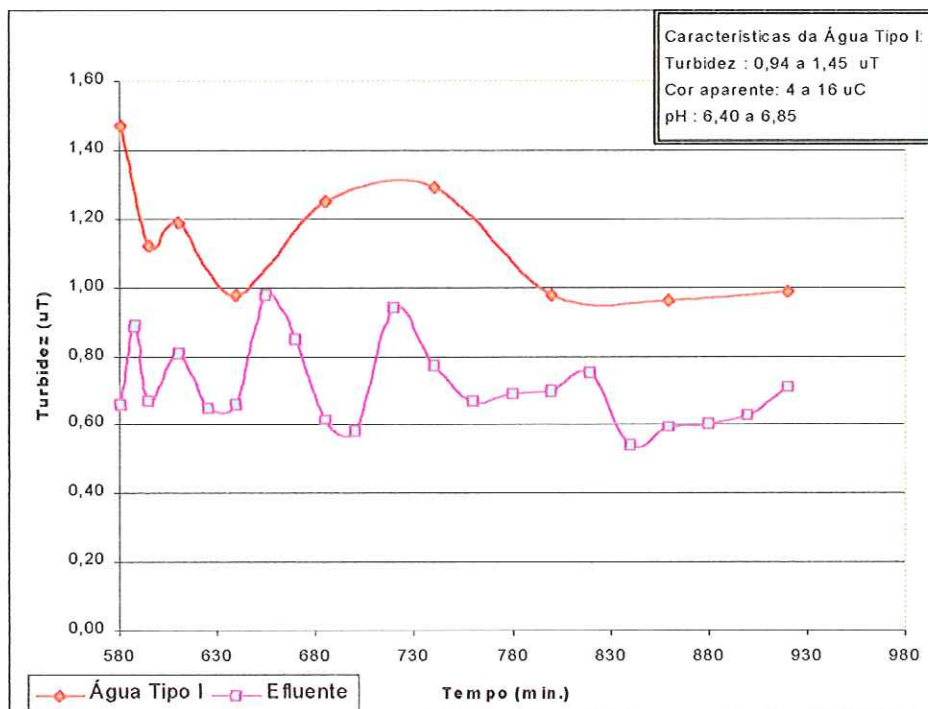


FIGURA A3 – Variação da Turbidez da água tipo I e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 3. Temp.: 25 ± 1° C

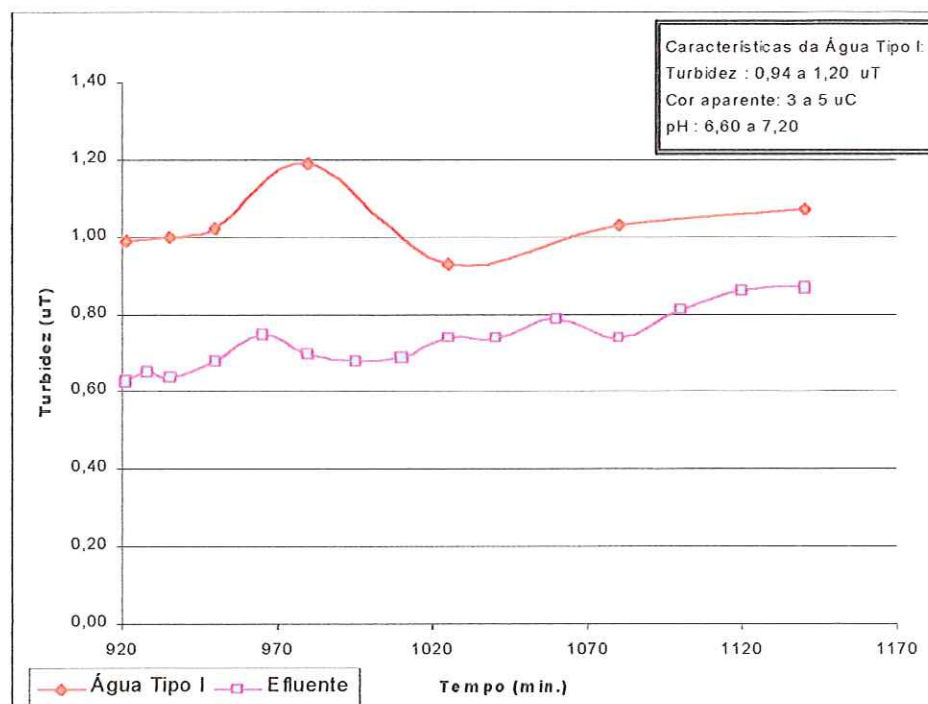


FIGURA A4 – Variação da Turbidez da água tipo I e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 4. Temp.: 25 ± 1° C

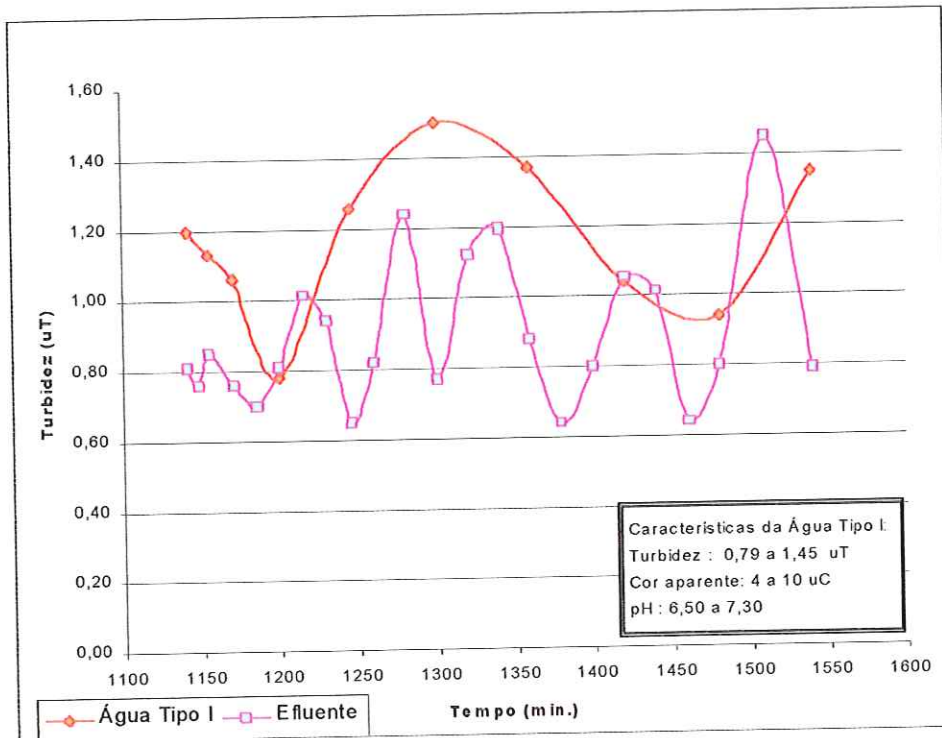


FIGURA A5 – Variação da Turbidez da água tipo I e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 5. Temp.: 25 ± 1° C

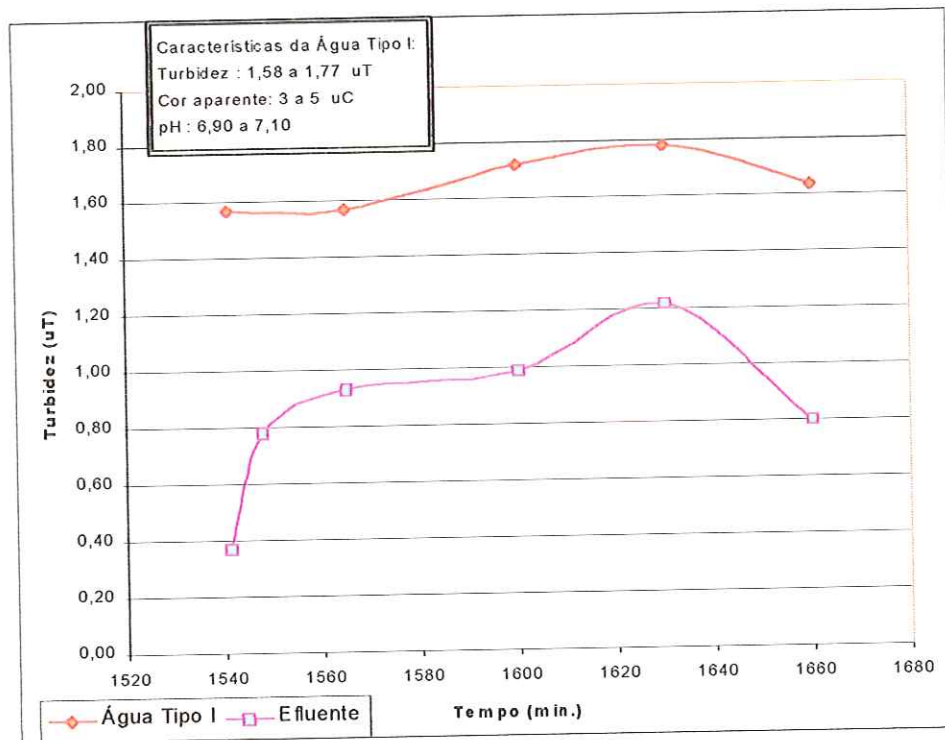


FIGURA A6 – Variação da Turbidez da água tipo I e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 6. Temp.: 25 ± 1° C

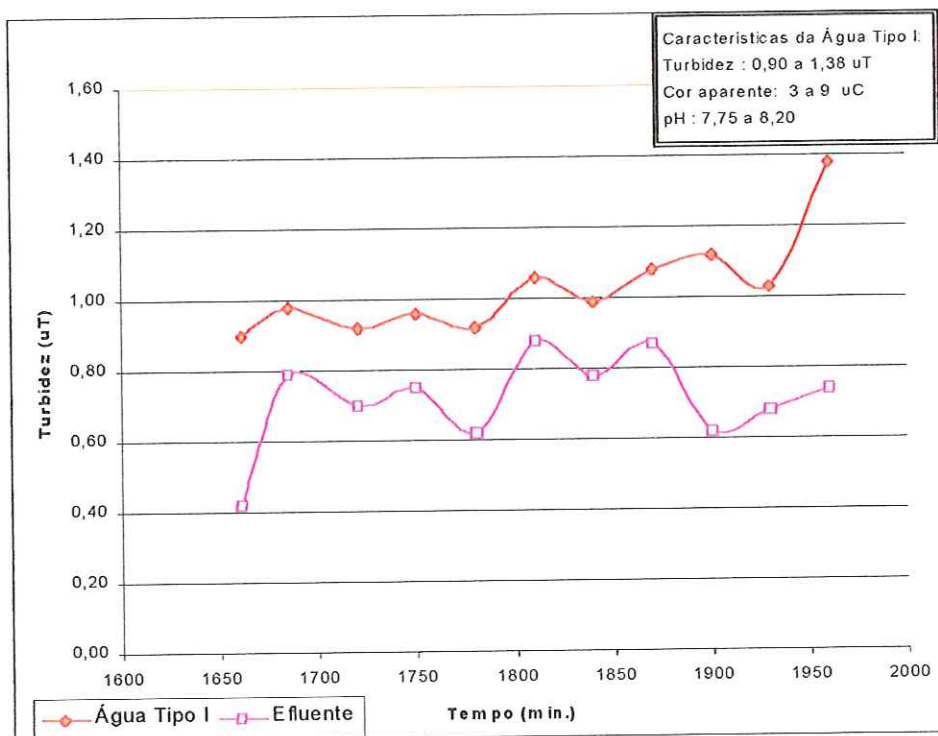


FIGURA A7 – Variação da Turbidez da água tipo I e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 7. Temp.: $25 \pm 1^\circ \text{C}$

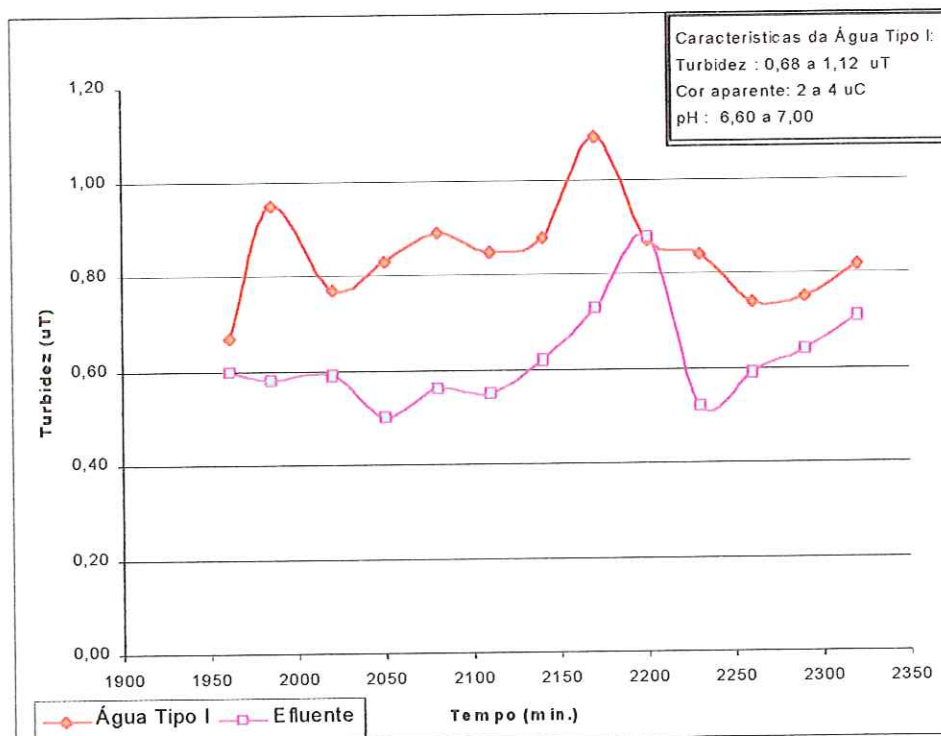


FIGURA A8 – Variação da Turbidez da água tipo I e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 8. Temp.: $25 \pm 1^\circ \text{C}$

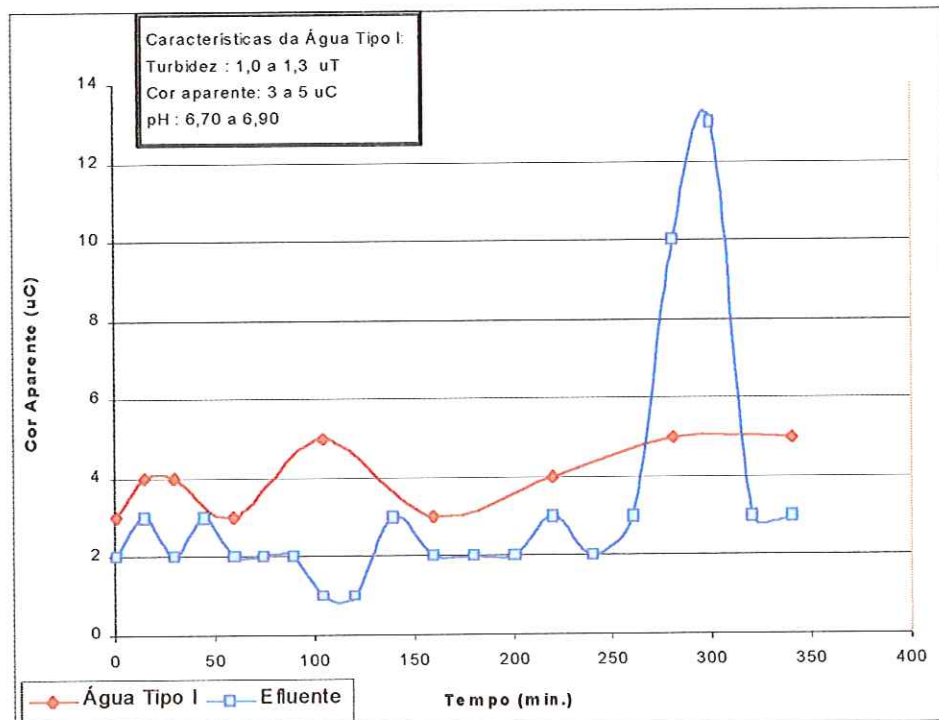


FIGURA A9 – Variação da Cor Aparente da água tipo I e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 1. Temp.: $25 \pm 1^\circ \text{C}$

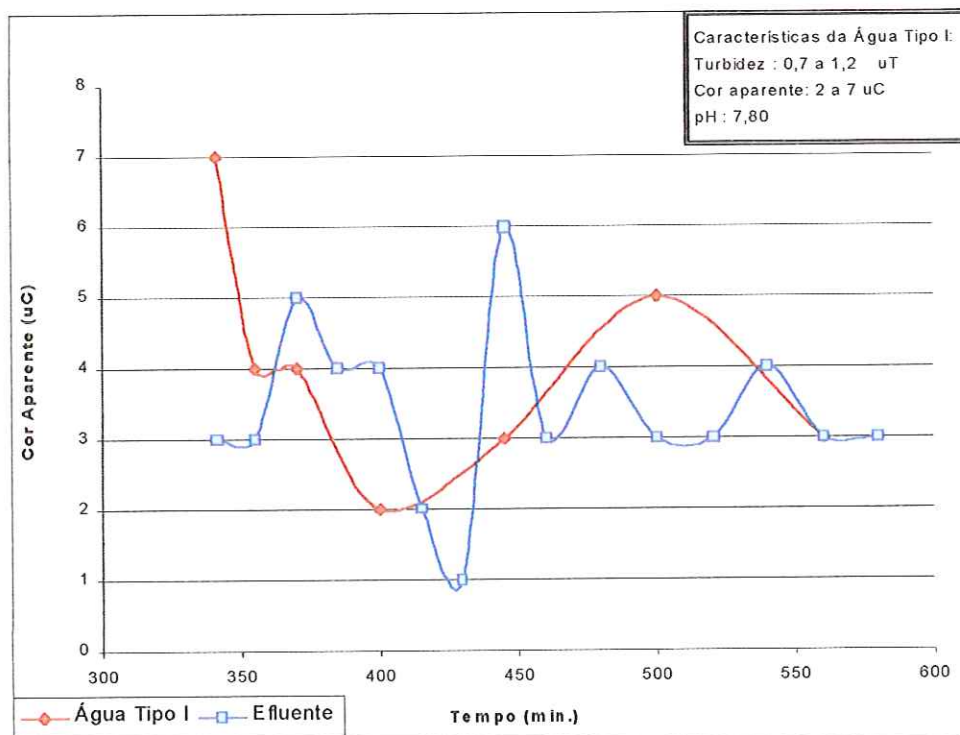


FIGURA A10 – Variação da Cor Aparente da água tipo I e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 2. Temp.: $25 \pm 1^\circ \text{C}$

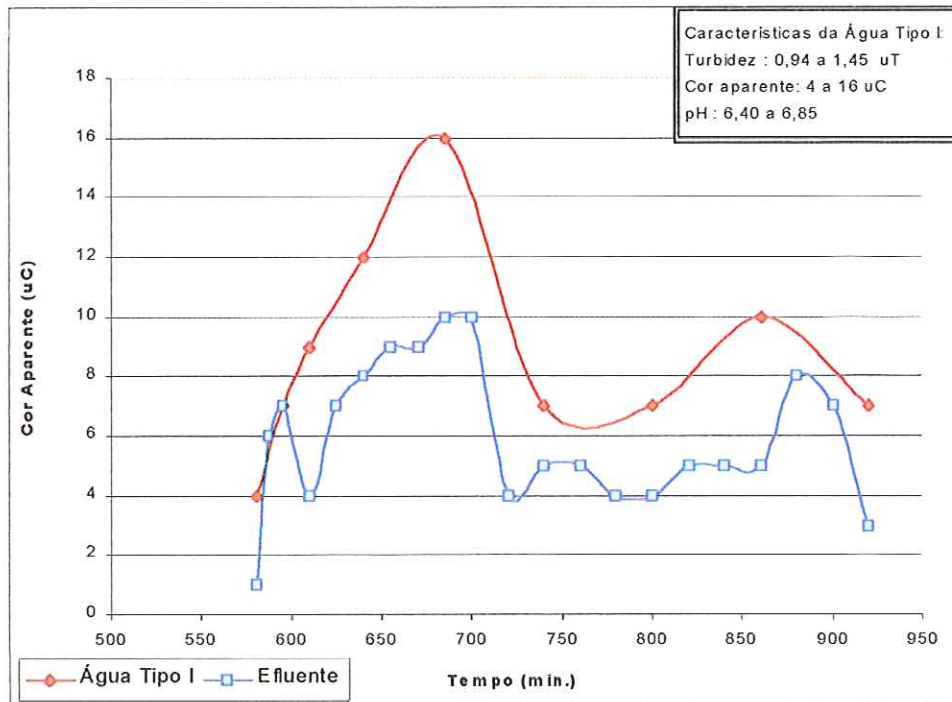


FIGURA A11 – Variação da Cor Aparente da água tipo I e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 3. Temp.: $25 \pm 1^\circ \text{C}$

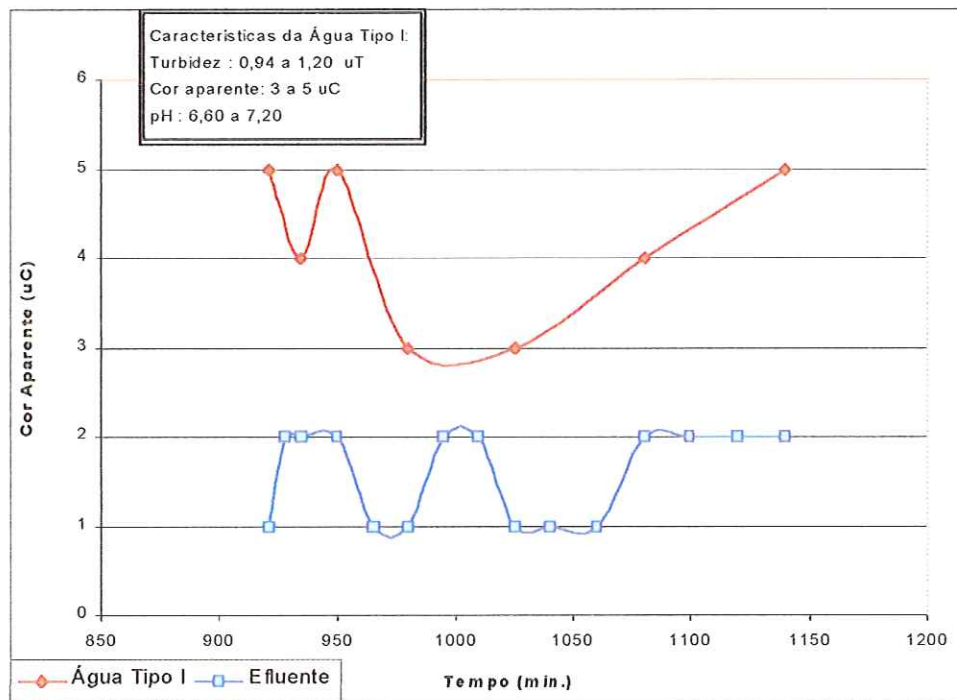


FIGURA A12 – Variação da Cor Aparente da água tipo I e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 4. Temp.: $25 \pm 1^\circ \text{C}$

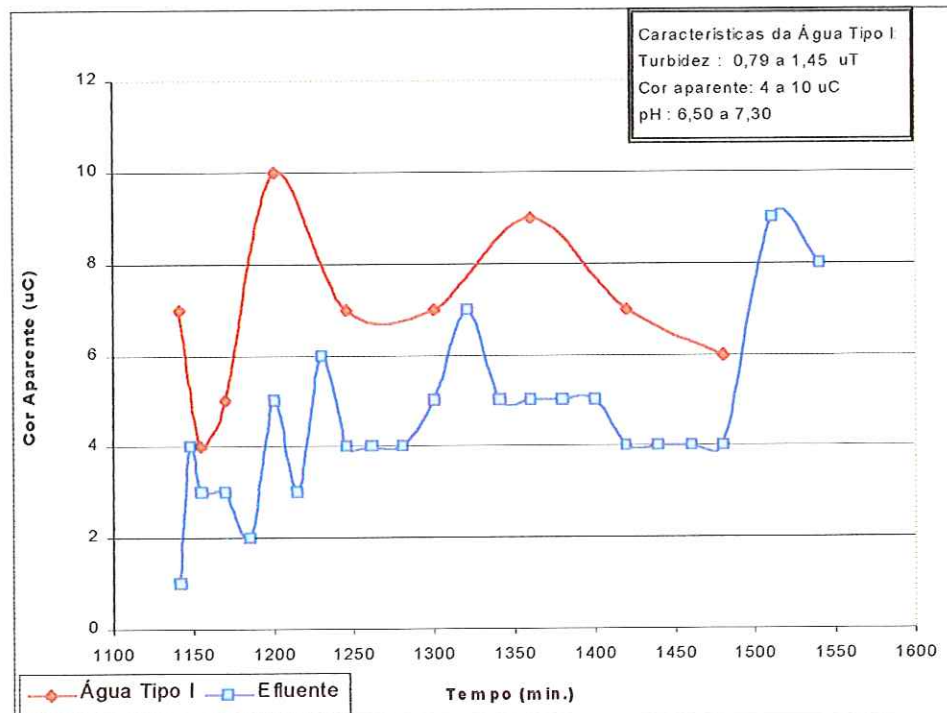


FIGURA A13 – Variação da Cor Aparente da água tipo I e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 5. Temp.: 25 ± 1° C

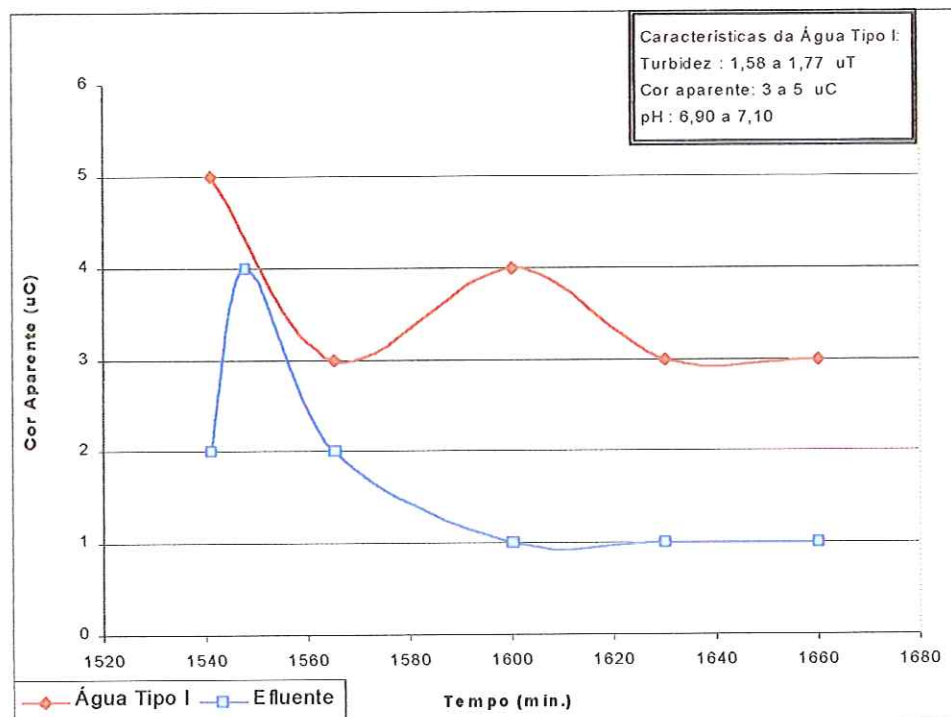


FIGURA A14 – Variação da Cor Aparente da água tipo I e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 6. Temp.: 25 ± 1° C

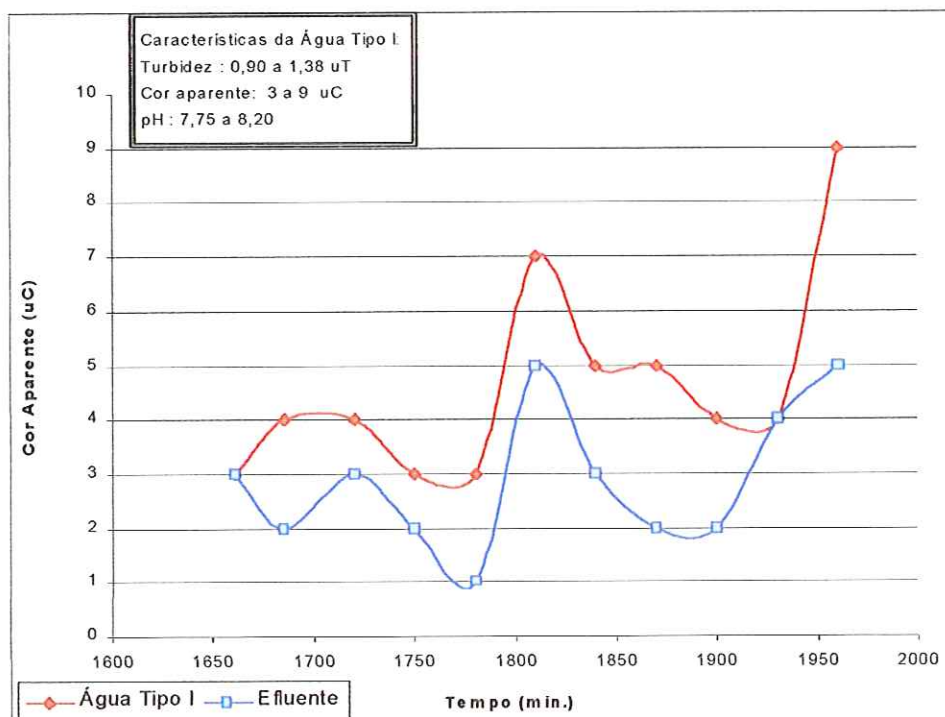


FIGURA A15 – Variação da Cor Aparente da água tipo I e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 7. Temp.: $25 \pm 1^\circ \text{C}$

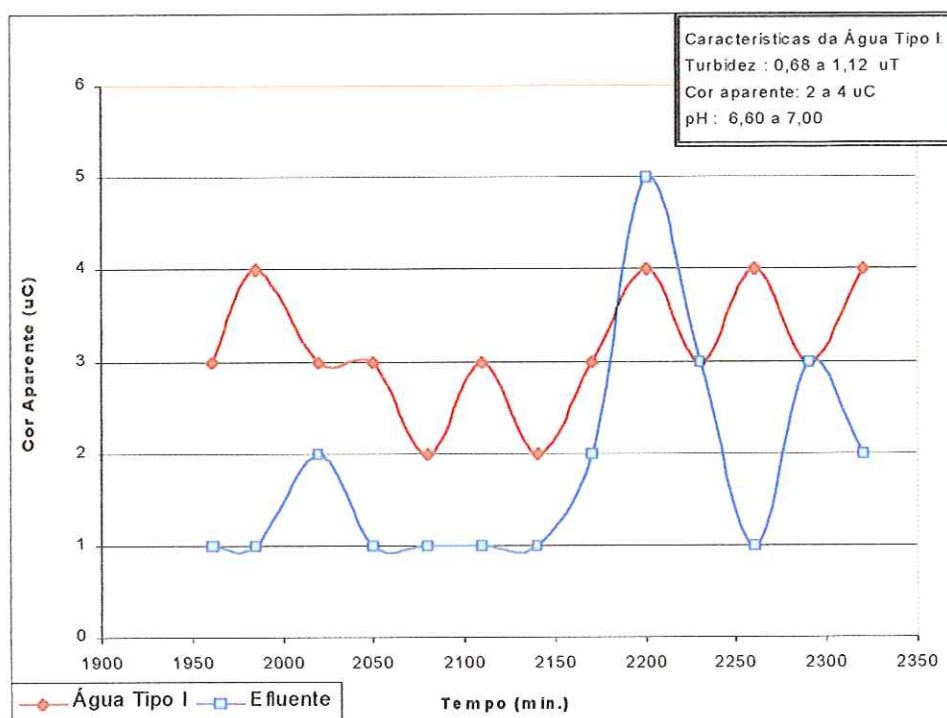


FIGURA A16 – Variação da Cor Aparente da água tipo I e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 8. Temp.: $25 \pm 1^\circ \text{C}$

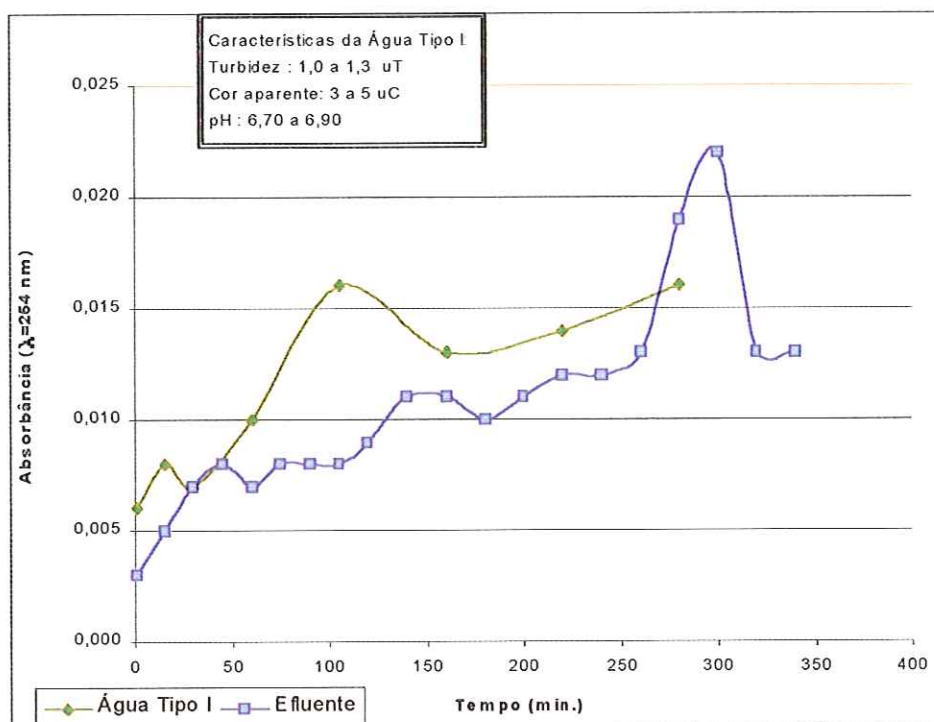


FIGURA A17 – Variação da Absorbância ($\lambda=254\text{nm}$) da água tipo I e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 1. Temp.: $25 \pm 1^\circ \text{C}$

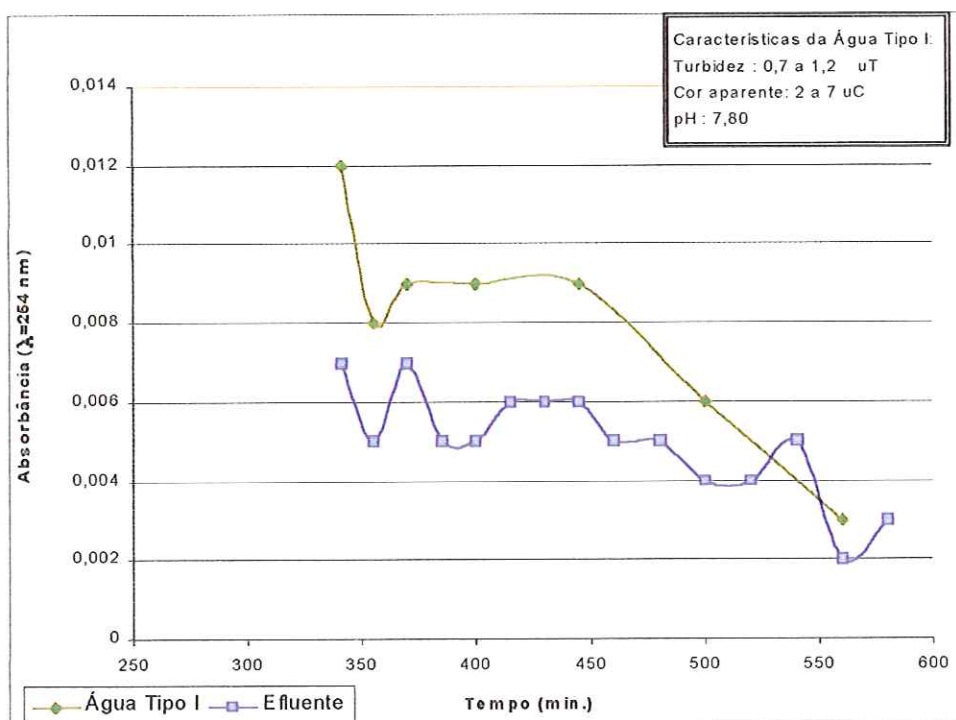


FIGURA A18 – Variação da Absorbância ($\lambda=254\text{nm}$) da água tipo I e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 2. Temp.: $25 \pm 1^\circ \text{C}$

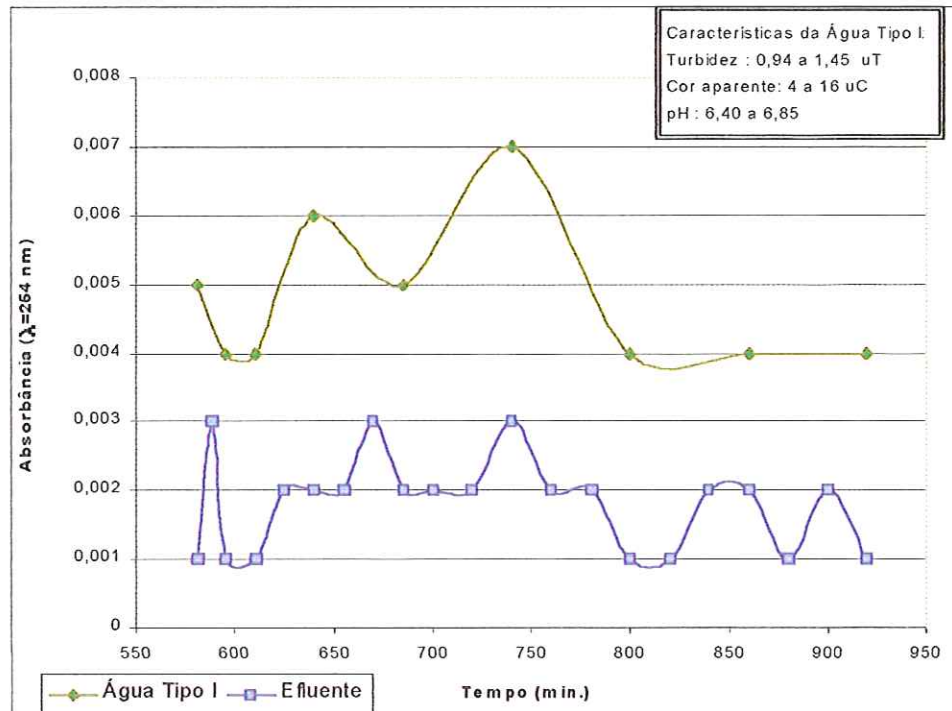


FIGURA A19 – Variação da Absorbância ($\lambda=254\text{nm}$) da água tipo I e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 3. Temp.: $25 \pm 1^\circ \text{C}$

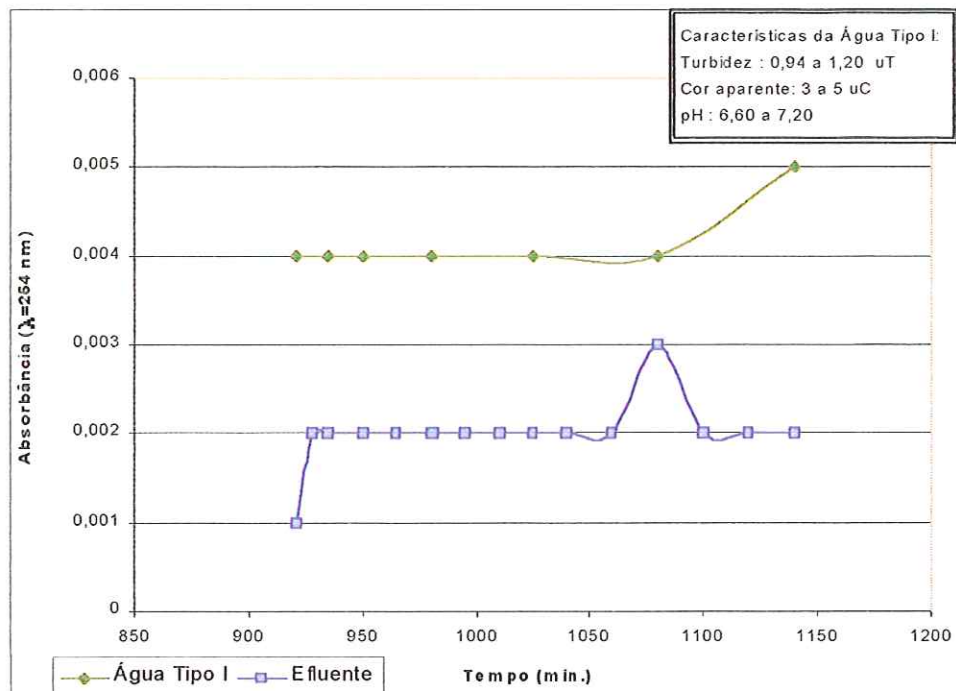


FIGURA A20 – Variação da Absorbância ($\lambda=254\text{nm}$) da água tipo I e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 4. Temp.: $25 \pm 1^\circ \text{C}$

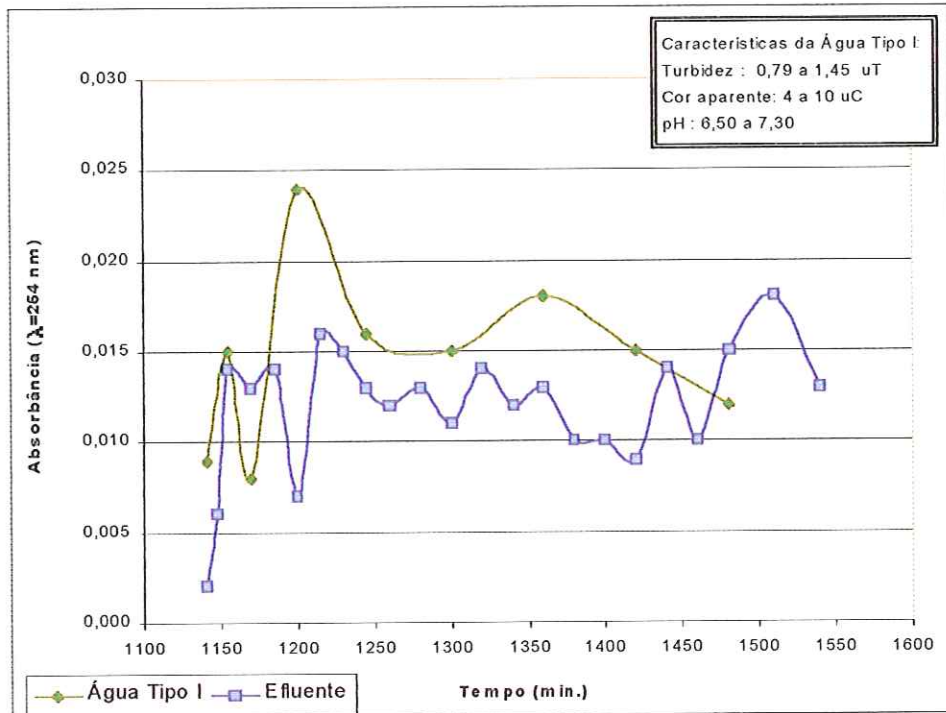


FIGURA A21 – Variação da Absorbância ($\lambda=254\text{nm}$) da água tipo I e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 5. Temp.: $25 \pm 1^\circ \text{C}$

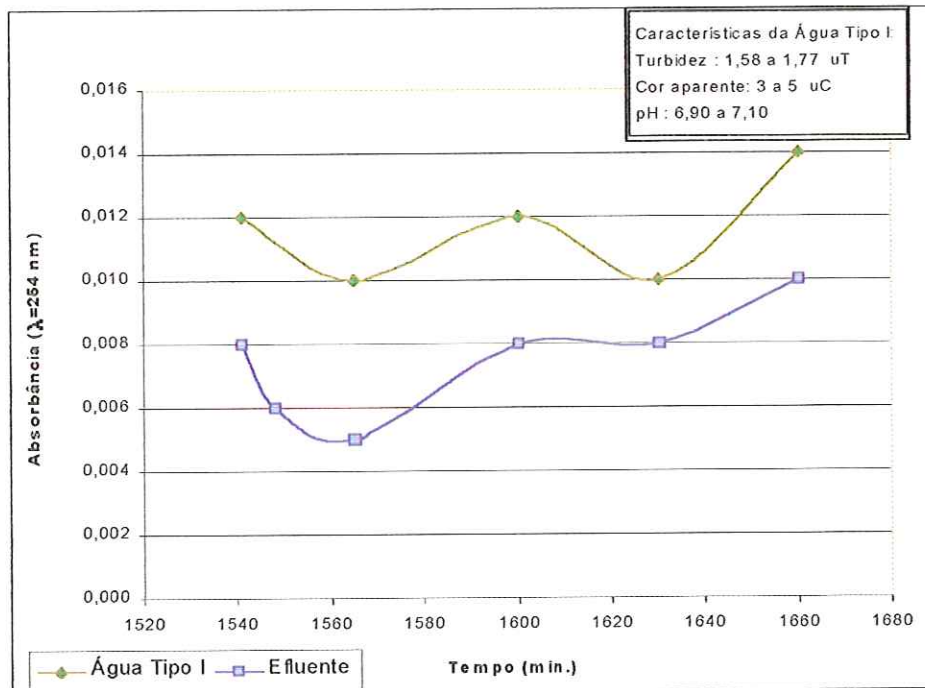


FIGURA A22 – Variação da Absorbância ($\lambda=254\text{nm}$) da água tipo I e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 6. Temp.: $25 \pm 1^\circ \text{C}$

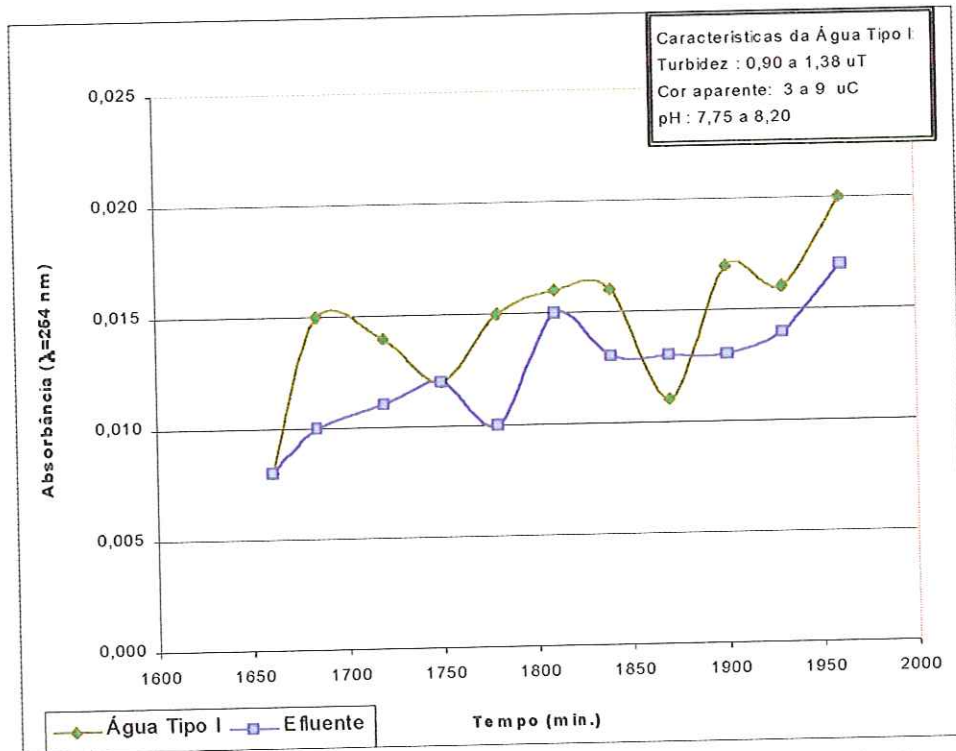


FIGURA A23 – Variação da Absorbância ($\lambda=254\text{nm}$) da água tipo I e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 7. Temp.: $25 \pm 1^\circ \text{C}$

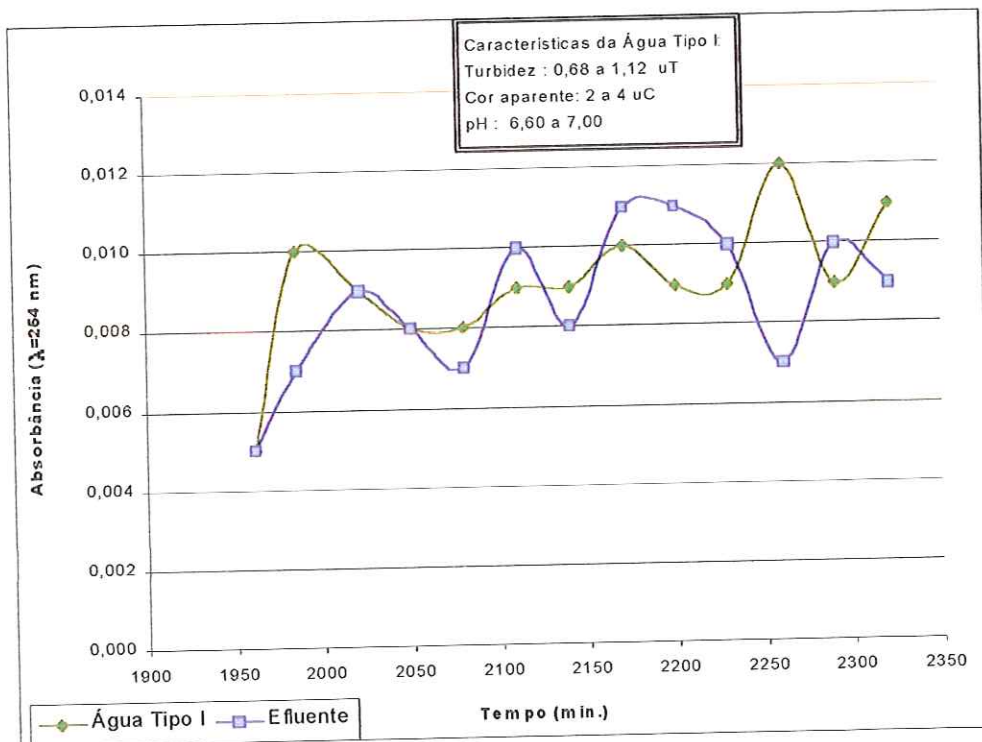


FIGURA A24 – Variação da Absorbância ($\lambda=254\text{nm}$) da água tipo I e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 8. Temp.: $25 \pm 1^\circ \text{C}$

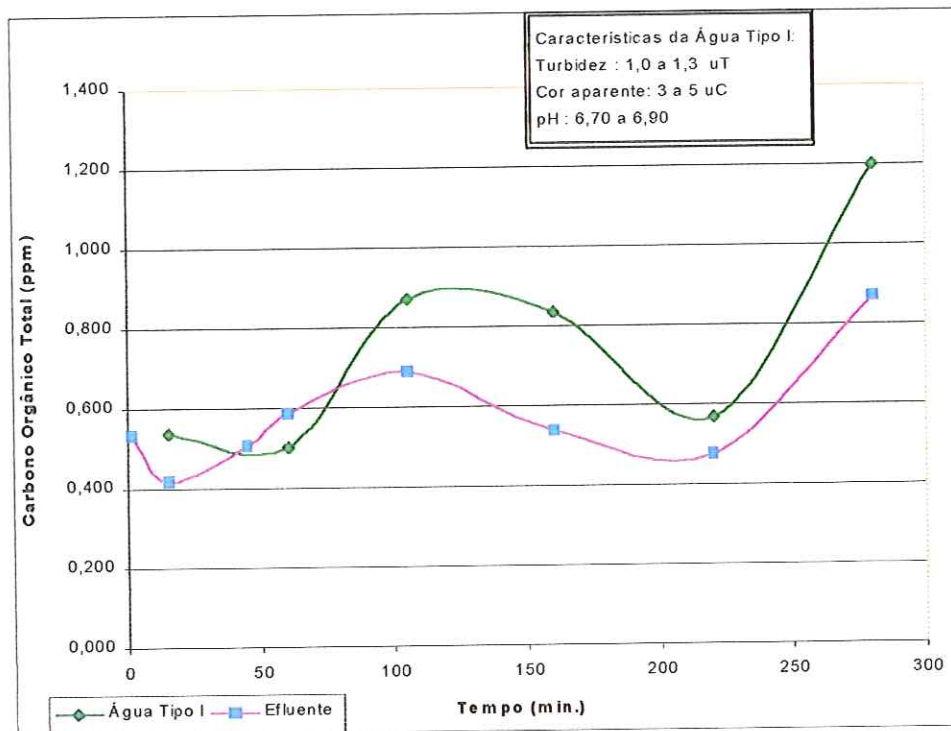


FIGURA A25 – Variação do Carbono Orgânico Total da água tipo I e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 1. Temp.: $25 \pm 1^\circ \text{C}$

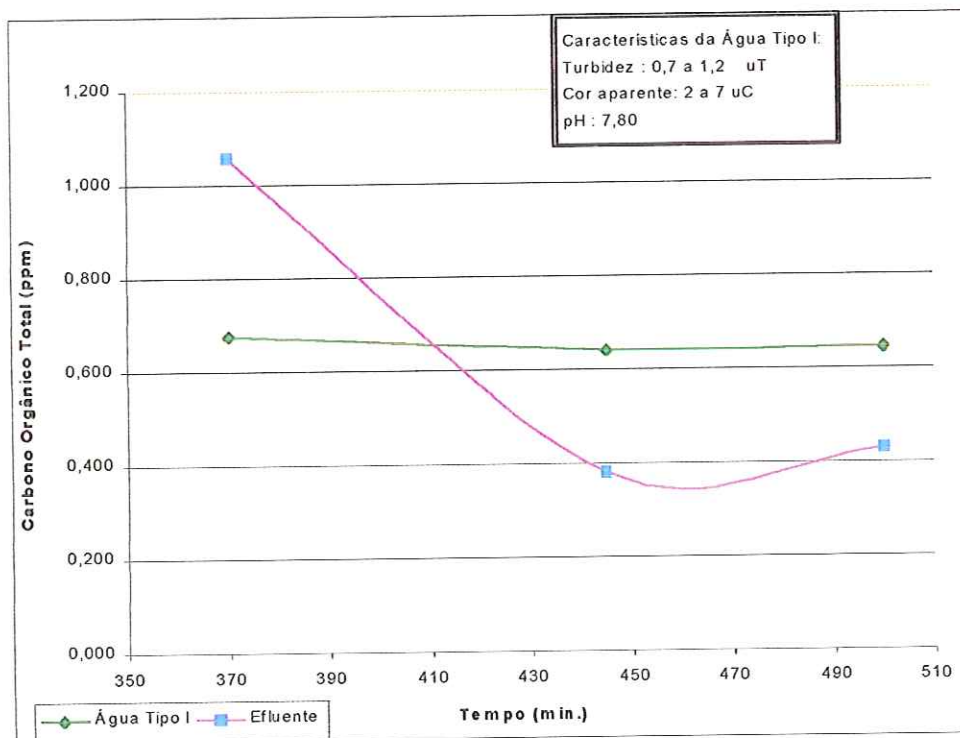


FIGURA A26 – Variação do Carbono Orgânico Total da água tipo I e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 2. Temp.: $25 \pm 1^\circ \text{C}$

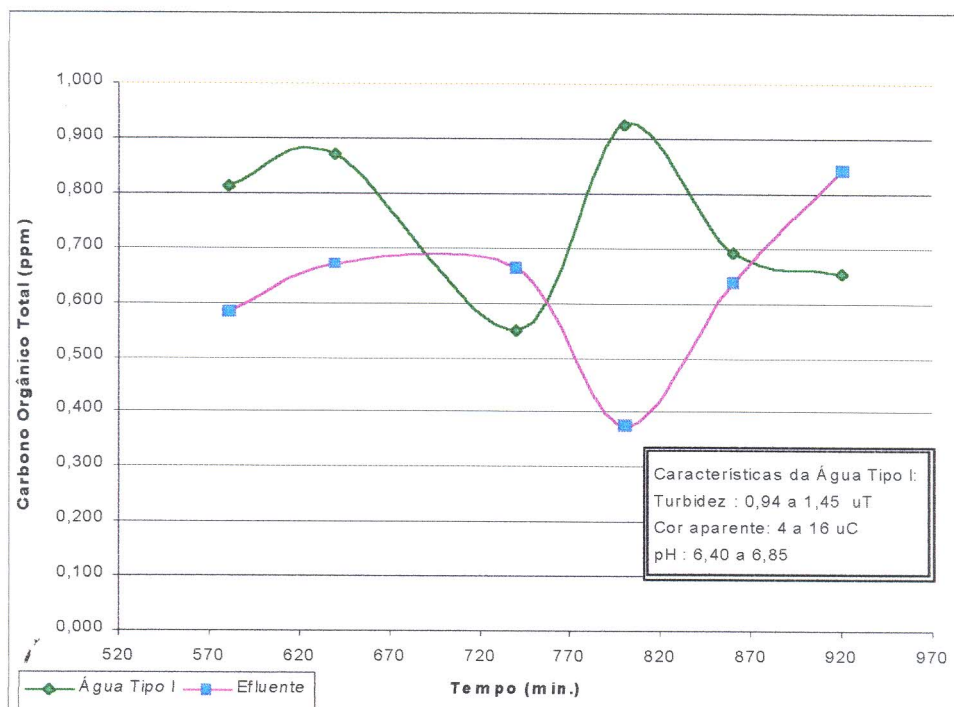


FIGURA A27 – Variação do Carbono Orgânico Total da água tipo I e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 3. Temp.: 25 ± 1° C

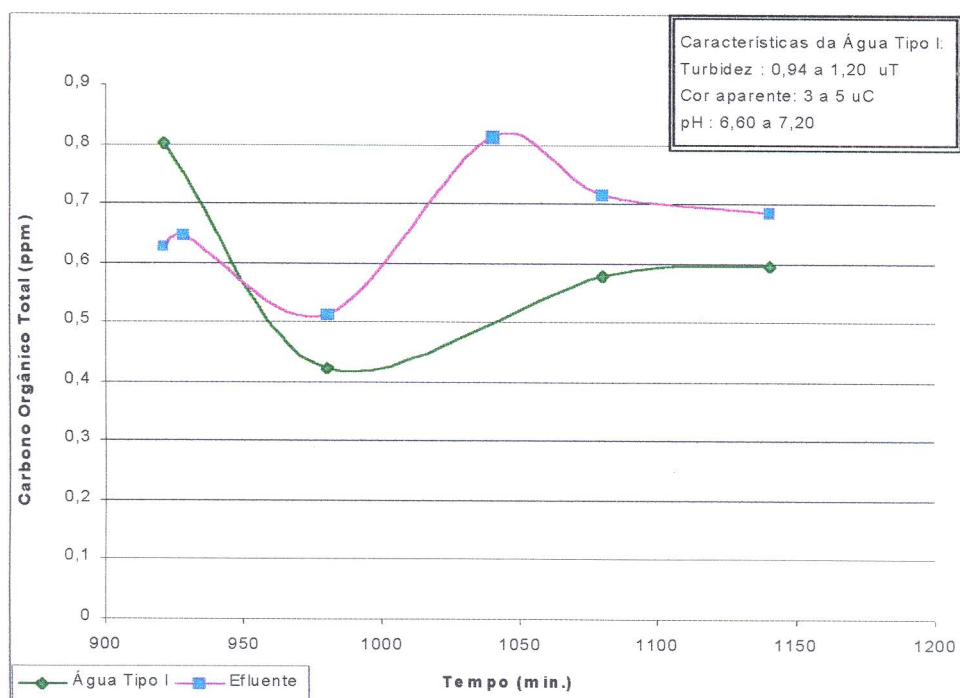


FIGURA A28 – Variação do Carbono Orgânico Total da água tipo I e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 4. Temp.: 25 ± 1° C

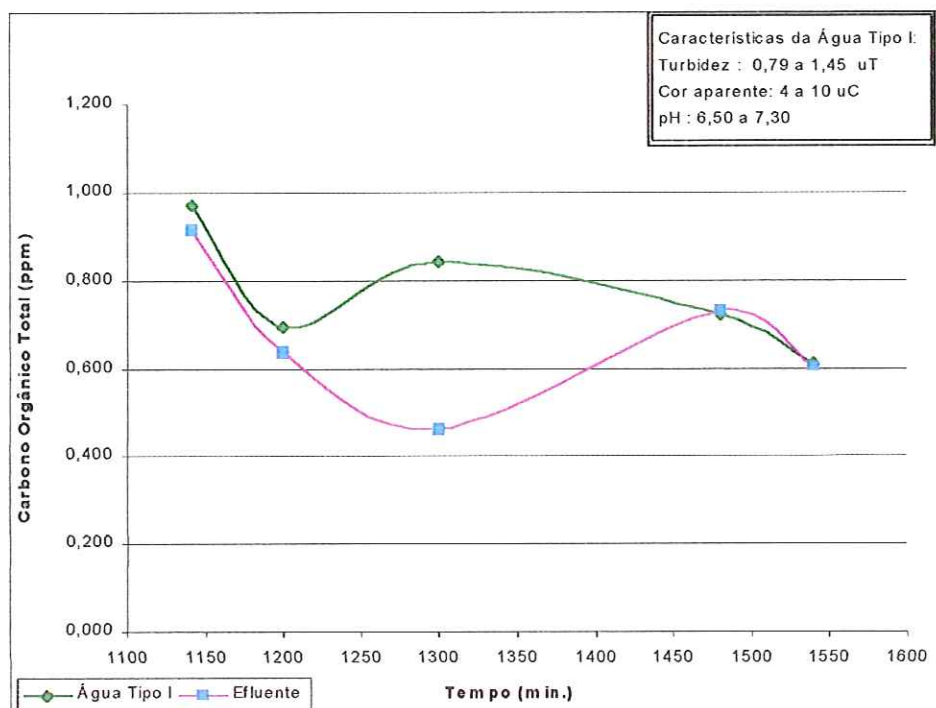


FIGURA A29 – Variação do Carbono Orgânico Total da água tipo I e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 5. Temp.: $25 \pm 1^\circ \text{C}$

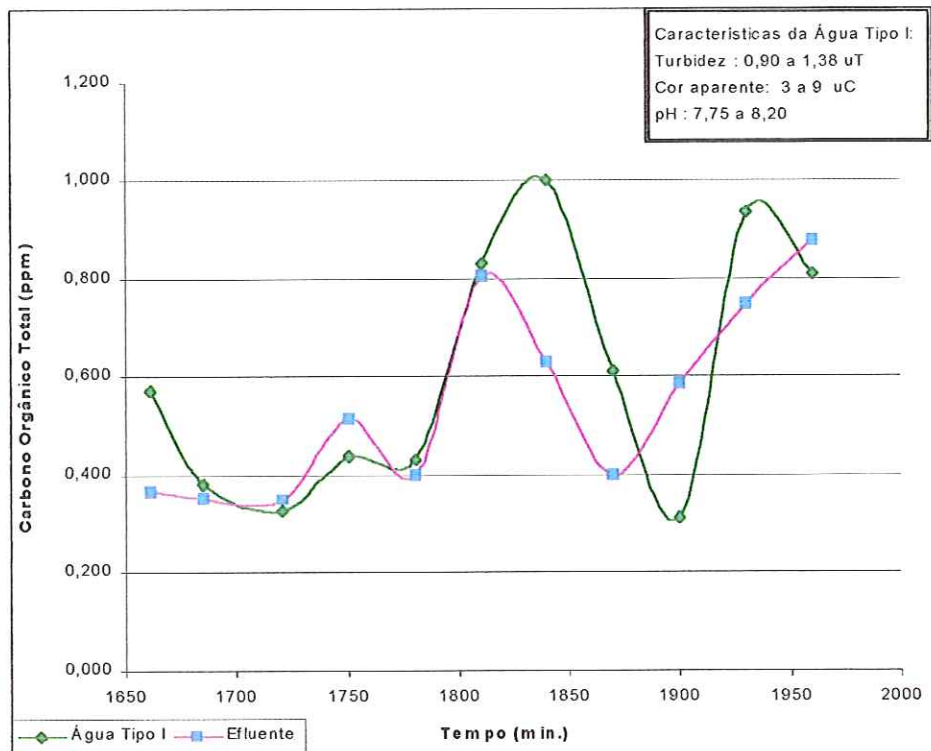


FIGURA A30 – Variação do Carbono Orgânico Total da água tipo I e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 7. Temp.: $25 \pm 1^\circ \text{C}$

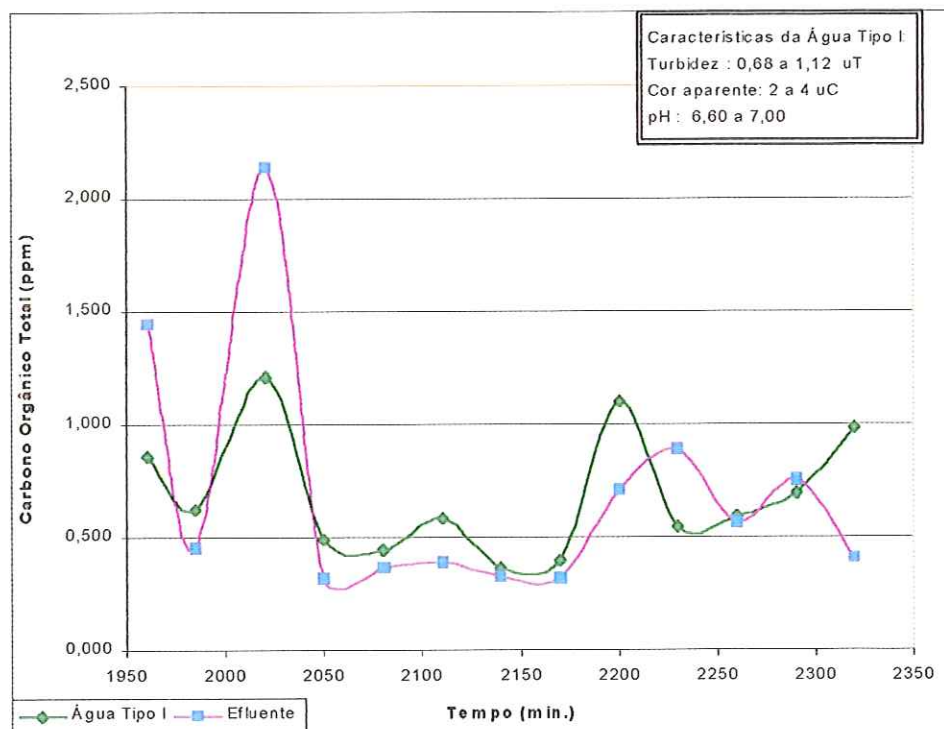


FIGURA A31 – Variação do Carbono Orgânico Total da água tipo I e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 8. Temp.: $25 \pm 1^\circ \text{C}$

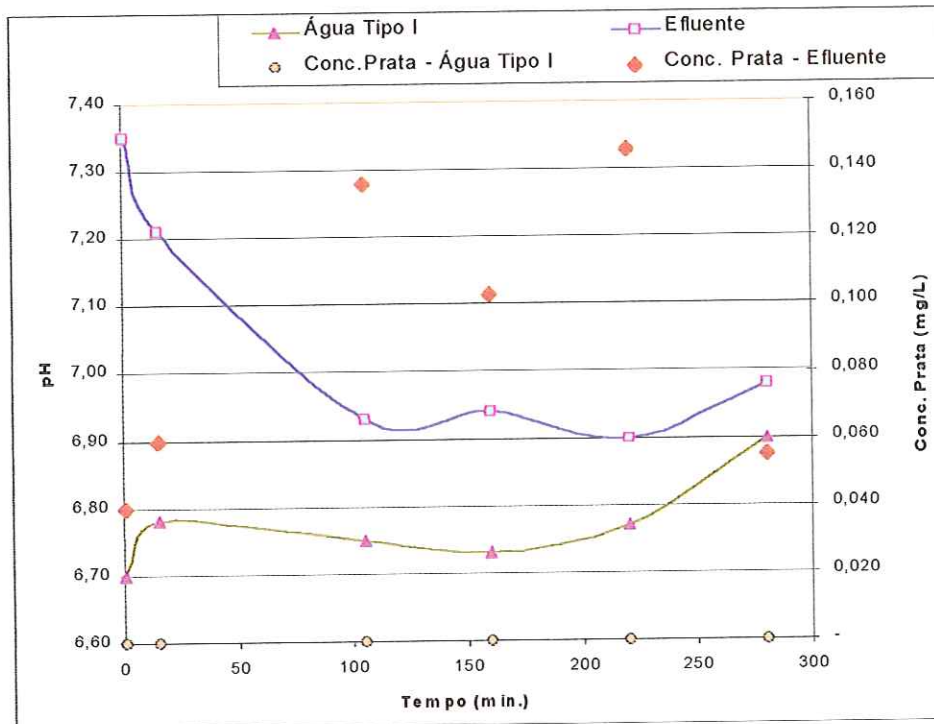


FIGURA A32 – Variação do pH e Concentração de Prata da água tipo I e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 1. Temp.: $25 \pm 1^\circ \text{C}$

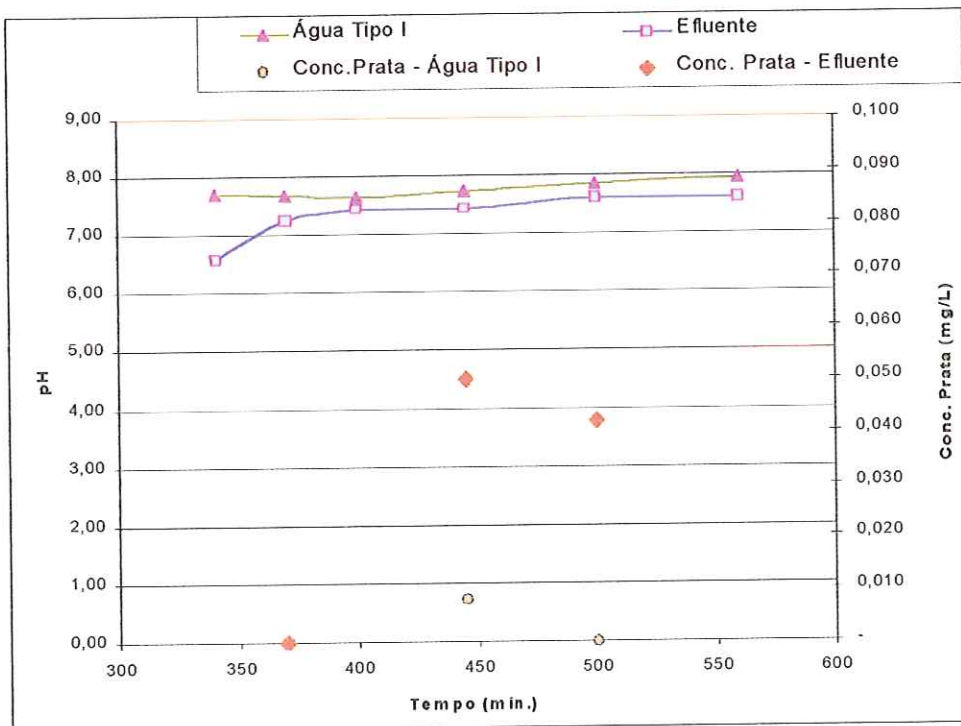


FIGURA A33 – Variação do pH e Concentração de Prata da água tipo I e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 2. Temp.: $25 \pm 1^\circ \text{C}$

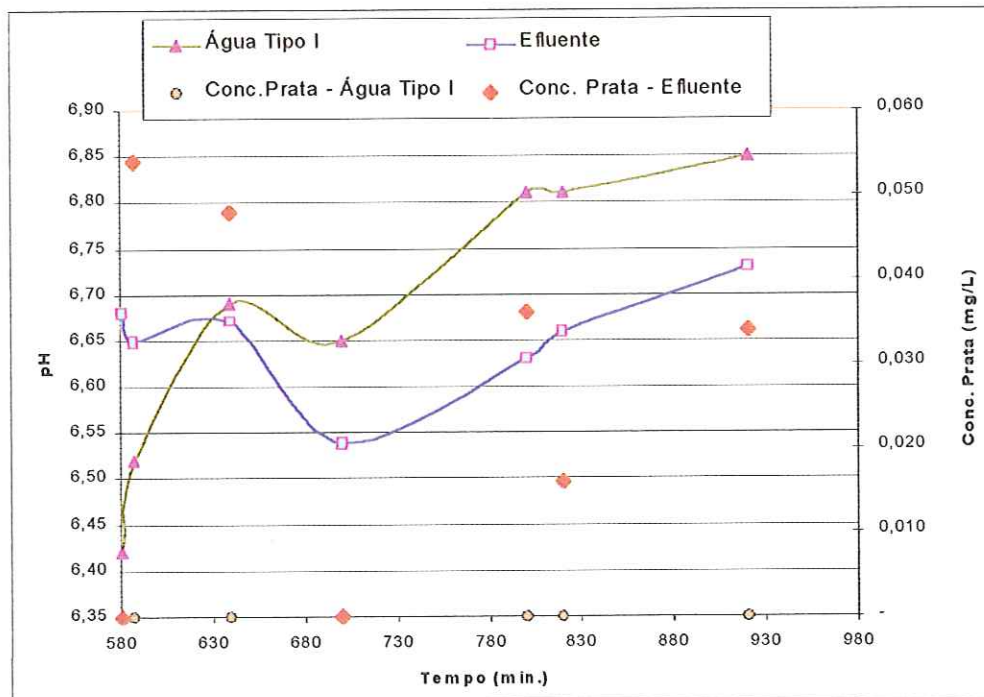


FIGURA A34 – Variação do pH e Concentração de Prata da água tipo I e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 3. Temp.: $25 \pm 1^\circ \text{C}$

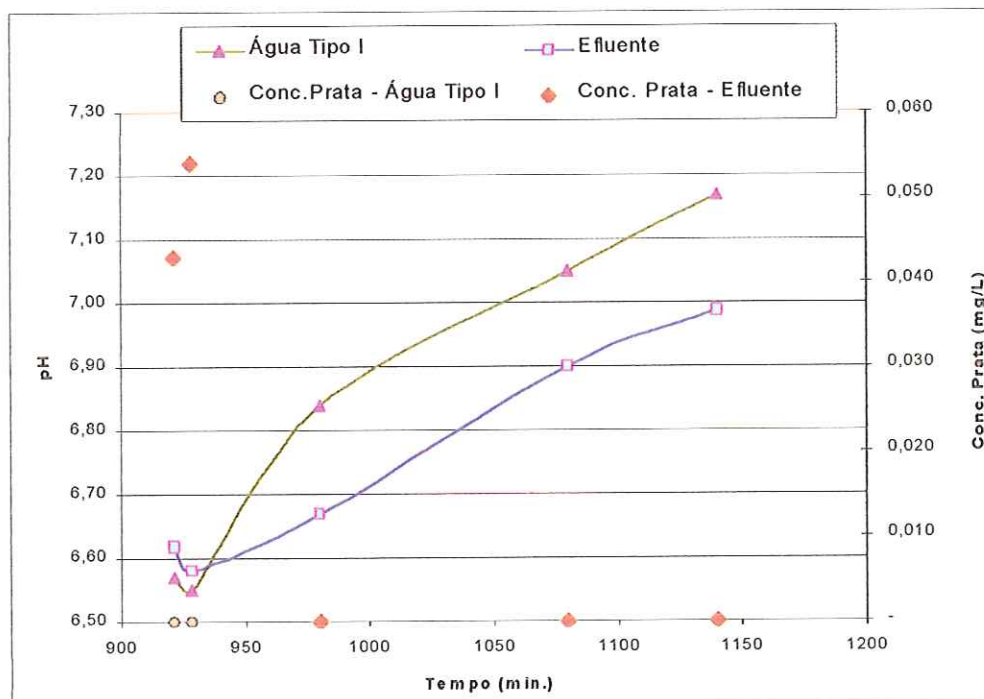


FIGURA A35 – Variação do pH e Concentração de Prata da água tipo I e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 4. Temp.: $25 \pm 1^\circ \text{C}$

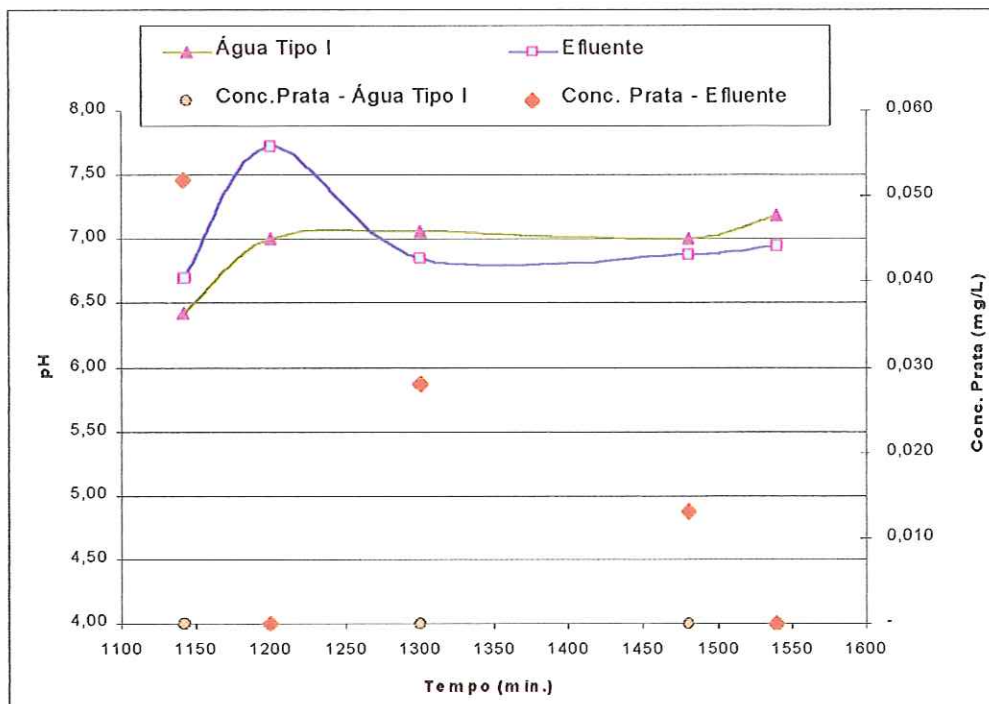


FIGURA A36 – Variação do pH e Concentração de Prata da água tipo I e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 5. Temp.: 25 ± 1° C

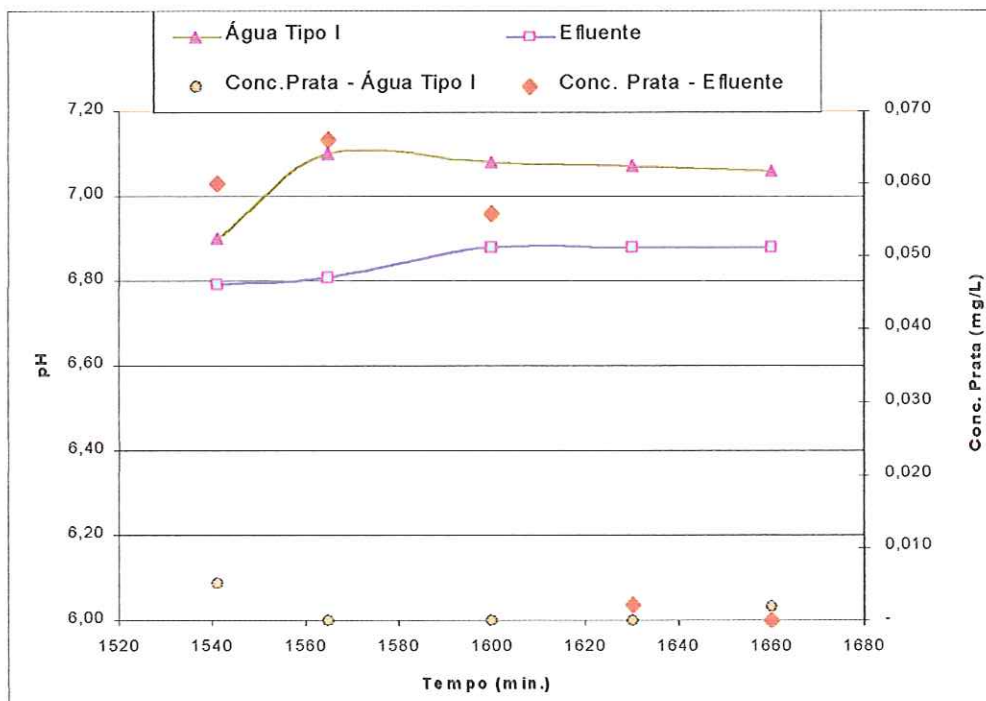


FIGURA A37 – Variação do pH e Concentração de Prata da água tipo I e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 6. Temp.: 25 ± 1° C

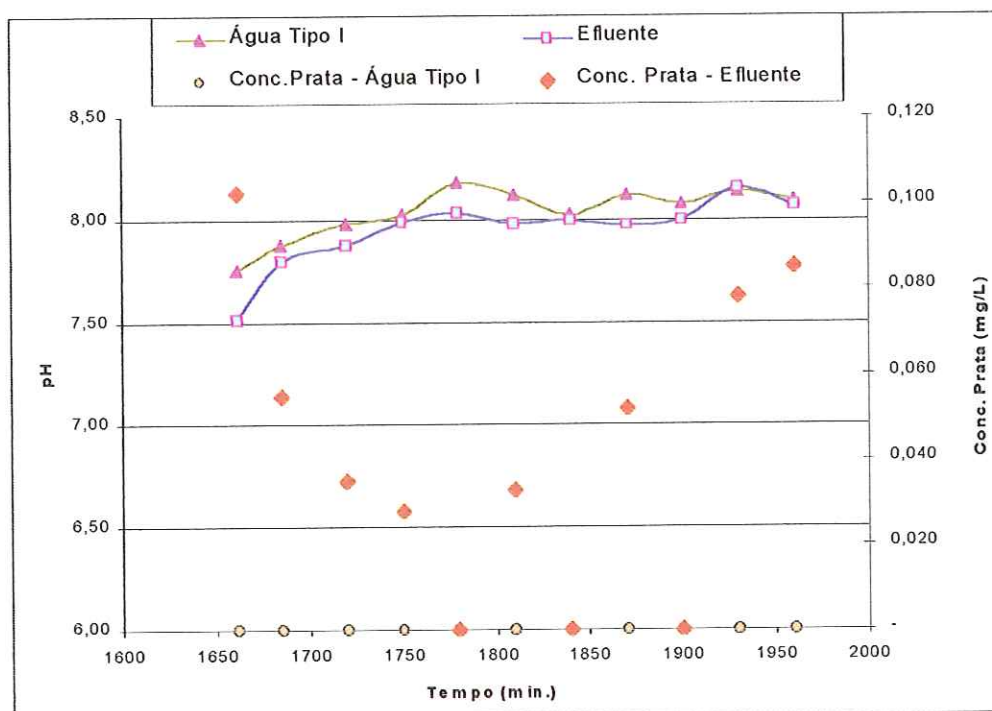


FIGURA A38 – Variação do pH e Concentração de Prata da água tipo I e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 7. Temp.: $25 \pm 1^\circ \text{C}$

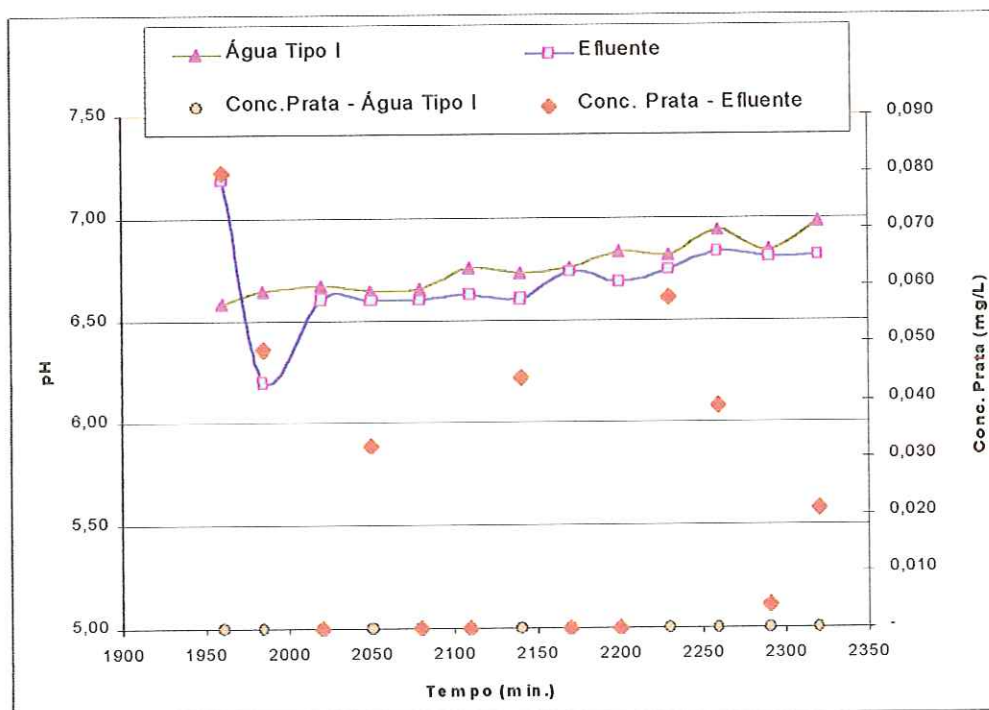


FIGURA A39 – Variação do pH e Concentração de Prata da água tipo I e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 8. Temp.: $25 \pm 1^\circ \text{C}$

ANEXO B

Resultados dos ensaios com a água tipo II

Tabela B1 - Resultados do ensaio 9, realizado com a água tipo II

Ensaio 9 - Água tipo II

Dia 5/10/99

início: 10:45

término: 17:50

Características do Filtro Piloto:

d(mm) = 92

A(m²) = 0,00665

H(m) = 0,24

Tempo (min.)	Turbidez (uT)		Cor Aparente (uC)		Abs. λ = 254 nm		COT (mg/L)		Vazão (L/h)	Taxa (m ³ /m ² d)	Vol. Parcial (L)
	A Tipo II	Efluente	A Tipo II	Efluente	A Tipo II	Efluente	A Tipo II	Efluente			
1	1,38	1,42	11	8	0,011	0,007	1,099	0,873	60,10	217,15	
25	1,10	0,80	10	5	0,011	0,005	0,883	1,017	60,15	217,17	24,06
60	0,90	0,88	8	5	0,009	0,006	0,797	0,601	55,99	202,14	32,66
90	0,95	0,78	8	5	0,009	0,006	0,811	0,655	63,27	228,43	31,63
120	1,10	1,00	7	8	0,009	0,015	0,794	0,657	58,55	211,38	29,27
150	1,06	0,90	9	6	0,013	0,006	0,689	0,610	58,47	211,10	29,24
180	1,21	1,00	9	7	0,013	0,007	1,116	1,303	56,45	203,82	28,23
210	1,08	0,86	10	8	0,011	0,009	1,496	1,038	61,34	221,46	30,67
240	1,09	0,96	6	6	0,009	0,007	1,431	1,116	58,63	211,69	29,32
270	1,09	0,97	8	6	0,009	0,006	0,963	0,804	60,16	217,20	30,08
300	1,08	0,80	9	6	0,009	0,005	1,420	1,166	59,31	214,13	29,65

Vol. Total filtrado = Somatória dos volumes determinados entre cada análise.

Vol Total filtrado no ensaio 9= **294,81 litros**

Taxa Volumétrica Total = VfiltradoTotal/Vcarvão

onde Vcarvão = 0,877 litros (porosidade = 0,45)

Taxa Volumétrica Total = **335,98 Lfiltro/Lcarvão**

Tabela B2 - Continuação dos resultados do ensaio 9, realizado com a água tipo II

Ensaio 9 - Água tipo II - Continuação

Dia 5/10/99

início: 10:45

término: 17:50

Tempo (min.)	pH		Conc. de Prata (mg/L)		Coliformes Totais (ind/100ml)		Coliformes Fecais (ind/100ml)	
	A Tipo II	Efluente	A Tipo II	Efluente	A Tipo II	Efluente	A Tipo II	Efluente
1	8,33	8,26	-	0,012	4,2	-	1,0	-
25	8,35	8,28	-	0,010	1,5	-	1,5	-
60	8,25	8,38	-	0,009	4,3	-	1,6	-
90	8,23	8,38	-	0,009	3,3	-	1,0	-
120	8,24	8,40	-	0,012	*	*	*	*
150	8,22	8,31	-	0,008	**	**	**	**
180	8,29	8,38	-	0,008	*	*	*	*
210	8,25	8,37	-	0,009	**	**	**	**
240	8,27	8,31	-	0,007	*	*	*	*
270	8,31	8,31	-	0,011	**	**	**	**
300	8,25	8,31	-	0,008	*	*	*	*

* Não foram feitas análises

**Água tipo II, neste ensaio, não apresentou coliformes

Tabela B3 - Resultados do ensaio 10, realizado com a água tipo II

Ensaio 10 - Água tipo II

Dia 7/10/99

início: 7:15

término: 12:15

Características do Filtro Piloto:

d(mm) = 92

A(m²) = 0,00665

H(m) = 0,24

Tempo (min.)	Turbidez (uT)		Cor Aparente (uC)		Abs. λ = 254 nm		COT (mg/L)		Vazão (L/h)	Taxa (m ³ /m ² d)	Vol. Parcial (L)
	A Tipo II	Efluente	A Tipo II	Efluente	A Tipo II	Efluente	A Tipo II	Efluente			
301	0,95	0,61	3	5	0,003	0,005	1,243	0,988	61,20	221,00	
325	0,79	0,69	3	3	0,005	0,003	1,117	1,165	61,14	220,75	24,46
360	1,60	0,93	3	4	0,004	0,010	1,091	0,994	60,28	217,64	35,16
390	0,88	1,02	10	11	0,006	0,019	1,028	0,956	60,13	217,10	30,07
420	0,64	0,77	4	2	0,009	0,005	0,988	0,890	59,19	213,70	29,60
450	1,30	0,79	20	2	0,010	0,007	1,385	1,382	60,74	219,29	30,37
480	0,84	0,90	9	4	0,006	0,011	1,354	1,310	60,20	217,35	30,10
510	0,99	0,59	7	2	0,014	0,012	1,388	1,219	59,34	214,23	29,67
540	0,80	0,79	8	3	0,014	0,012	1,329	1,442	61,25	221,12	30,62
570	0,75	0,74	7	2	0,013	0,011	1,301	1,754	60,51	218,48	30,26
600	0,93	0,78	7	3	0,015	0,013	1,258	1,301	60,60	218,78	30,30

Vol. Total filtrado = Somatória dos volumes determinados a cada análise.

Vol Total filtrado no ensaio10= **300,60 litros**

Volume acumulado = 595,41 litros

Taxa Volumétrica Total = VfiltradoTotal/Vcarvão

onde Vcarvão = 0,877 litros (porosidade = 0,45)

Taxa Volumétrica Total = **678,56 Lfiltro/Lcarvão**

Tabela B4 - Continuação dos resultados do ensaio 10, realizado com a água tipo II

Ensaio 10 - Água tipo II - Continuação

Dia 7/10/99

início: 7:15

término: 12:15

Tempo (min.)	pH		Conc. de Prata (mg/L)		Coliformes Totais (ind/100ml)		Coliformes Fecais (ind/100ml)	
	A Tipo II	Efluente	A Tipo II	Efluente	A Tipo II	Efluente	A Tipo II	Efluente
301	7,63	8,45	-	0,003	22,5	-	11,9	-
325	8,10	8,85	-	0,006	15,8	-	5,2	-
360	8,41	8,87	-	0,005	27,2	-	14,5	-
390	8,44	8,78	-	0,008	26,2	12,1	11,0	6,3
420	8,33	8,76	-	0,010	**	**	**	**
450	8,30	8,60	-	0,008	12,2	-	8,6	-
480	8,68	8,70	-	0,010	**	**	**	**
510	8,56	8,59	-	0,008	24,0	1,0	12,0	1,0
540	8,65	8,65	-	0,009	**	**	**	**
570	8,56	8,60	-	0,010	14,0	-	11,0	-
600	8,63	8,60	-	0,008	**	**	**	**

**Água tipo II, neste ensaio, não apresentou coliformes

Tabela B5 - Resultados do ensaio 11, realizado com a água tipo II

Ensaio 11 - Água tipo II

Dia 11/10/99

início: 8:00

término: 18:00

Características do Filtro Piloto:

d(mm) = 92

A(m²) = 0,006647

H(m) = 0,24

Tempo (min.)	Turbidez (uT)		Cor Aparente (uC)		Abs. $\lambda = 254$ nm		COT (mg/L)		Vazão (L/h)	Taxa (m ³ /m ² d)	Vol. Parcial (L)
	A Tipo II	Efluente	A Tipo II	Efluente	A Tipo II	Efluente	A Tipo II	Efluente			
601	1,06	1,25	7	15	0,011	0,019	2,163	1,867	58,91	212,84	
660	1,04	0,77	5	3	0,008	0,005	1,575	1,505	58,54	211,34	57,56
750	0,98	0,81	7	3	0,011	0,005	1,800	1,983	58,07	209,67	87,11
840	0,95	0,74	6	4	0,009	0,006	2,640	2,323	60,98	220,15	91,46
930	0,97	0,81	7	4	0,010	0,006	3,283	2,118	58,99	212,97	88,48
1020	0,95	0,85	6	4	0,009	0,006	2,844	2,640	59,02	213,07	88,52
1110	1,17	0,86	6	5	0,009	0,006	3,449	3,158	56,27	203,15	84,40
1200	0,96	0,78	7	12	0,009	0,015	1,388	1,219	57,97	209,30	86,96

Vol. Total filtrado = Somatória dos volumes determinados a cada análise.

Vol Total filtrado no ensaio11= **584,50 litros**

Volume acumulado = 1179,90 litros

Taxa Volumétrica Total = $V_{\text{filtradoTotal}}/V_{\text{carvão}}$ onde $V_{\text{carvão}}$ = 0,877459 litros (porosidade = 0,45)Taxa Volumétrica Total = **1344,68 Lfiltro/Lcarvão**

Tabela B6 - Continuação dos resultados do ensaio 11, realizado com a água tipo II

Ensaio 11 - Água tipo II - Continuação

Dia 11/10/99

início: 8:00

término: 18:00

Tempo (min.)	pH		Conc. de Prata (mg/L)		Coliformes Totais (ind/100ml)		Coliformes Fecais (ind/100ml)	
	A Tipo II	Efluente	A Tipo II	Efluente	A Tipo II	Efluente	A Tipo II	Efluente
601	7,79	7,71	-	0,052	18,3	-	10,8	-
660	8,23	8,12	-	0,070	12,2	4,1	7,4	3,1
750	8,25	8,11	-	-	4,1	2,0	2,0	2,0
840	8,21	8,16	-	-	7,4	-	5,2	-
930	8,21	8,15	-	-	16,1	5,2	5,2	4,1
1020	8,21	8,19	-	0,070	13,3	1,0	6,2	1,0
1110	8,28	8,24	-	0,048	11,0	6,3	6,3	2,0
1200	8,30	8,25	-	0,093	8,5	1,4	2,4	1,0

Tabela B7 - Resultados do ensaio 12, realizado com a água tipo II

Ensaio 12 - Água tipo II

Dia 13/10/99

início: 8:00

término: 18:00

Características do Filtro Piloto:

d(mm) = 92

A(m²) = 0,006647

H(m) = 0,24

Tempo (min.)	Turbidez (uT)		Cor Aparente (uC)		Abs. λ = 254 nm		COT (mg/L)		Vazão (L/h)	Taxa (m ³ /m ² d)	Vol. Parcial (L)
	A Tipo II	Efluente	A Tipo II	Efluente	A Tipo II	Efluente	A Tipo II	Efluente			
1201	1,09	0,70	6	4	0,011	0,010	0,771	1,358	57,00	205,25	
1260	1,15	0,68	8	4	0,015	0,010	0,866	0,862	57,27	206,77	56,32
1350	1,18	0,70	4	4	0,009	0,009	1,168	1,590	62,07	224,10	93,10
1440	1,25	1,00	7	4	0,016	0,013	0,664	0,634	60,00	216,63	90,00
1530	1,07	0,76	6	3	0,010	0,008	0,739	1,194	59,87	216,16	89,81
* 1620	0,96	0,74	7	5	0,012	0,010	0,870	0,634	60,70	219,15	91,05
1710	0,79	0,49	7	3	0,011	0,006	0,553	0,449	59,99	216,59	89,99

*Final da carga Hidráulica Disponível e lavagem da Manta com água do poço profundo

Vol. Total filtrado = Somatória dos volumes determinados a cada análise.

Vol Total filtrado no ensaio 12 = **510,26 litros**

Volume acumulado = 1690,16 litros

Taxa Volumétrica Total = $V_{filtrado} / V_{carvão}$

onde $V_{carvão}$ = 0,877 litros (porosidade = 0,45)

Taxa Volumétrica Total = **1926,20 Lfiltrado/Lcarvão**

Tabela B8 - Continuação dos resultados do ensaio 12, realizado com a água tipo II

Ensaio 12 - Água tipo II - Continuação

Dia 13/10/99

início: 8:00

término: 18:00

Tempo (min.)	pH		Conc. de Prata (mg/L)		Coliformes Totais (ind/100ml)		Coliformes Fecais (ind/100ml)	
	A Tipo II	Efluente	A Tipo II	Efluente	A Tipo II	Efluente	A Tipo II	Efluente
1201	7,79	7,64	-	0,054	579,4	1,0	365,4	1,0
1260	7,78	7,72	-	0,042	579,4	39,5	579,4	35,5
1350	7,59	7,67	-	0,059	648,8	31,7	261,3	17,5
1440	7,58	7,78	-	0,072	1.413,6	22,8	461,1	17,1
1530	7,49	7,33	-	0,082	920,8	43,2	260,2	24,6
1620	7,54	7,39	-	0,147	1.203,3	5,2	317,3	4,1
1710	7,64	7,40	-	0,120	1.299,7	886,4	517,2	461,1

Tabela B9 - Resultados do ensaio 13, realizado com a água tipo II

Ensaio 13 - Água tipo II

Dia 14/10/99

início: 7:55

término: 16:30

Características do Filtro Piloto:

d(mm) = 92

A(m²) = 0,00665

H(m) = 0,24

Tempo (min.)	Turbidez (uT)		Cor Aparente (uC)		Abs. λ = 254 nm		COT (mg/L)		Vazão (L/h)	Taxa (m ³ /m ² d)	Vol. Parcial (L)
	A Tipo II	Efluente	A Tipo II	Efluente	A Tipo II	Efluente	A Tipo II	Efluente			
1711	1,28	1,25	11	7	0,006	0,0018	0,509	0,744	58,87	212,21	
1770	1,48	0,88	8	5	0,010	0,004	0,545	0,293	59,30	214,09	58,31
1860	1,15	0,71	6	5	0,005	0,006	0,351	0,283	62,36	225,14	93,54
1950	0,97	0,71	7	4	0,005	0,004	0,437	0,407	59,32	214,16	88,98
* 2040	0,93	0,65	6	5	0,006	0,003	0,386	0,276	57,51	207,63	86,26
2130	0,95	0,74	8	6	0,007	0,007	0,541	0,292	58,18	210,04	87,27
2220	0,97	0,72	8	6	0,008	0,006	0,505	0,401	60,00	216,63	90,00

*Final da carga Hidráulica Disponível e lavagem da Manta com água do poço profundo

Vol. Total filtrado = Somatória dos volumes determinados a cada análise.

Vol Total filtrado no ensaio13= **504,35 litros**

Volume acumulado = 2194,51 litros

Taxa Volumétrica Total = VfiltradoTotal/Vcarvão

onde Vcarvão = 0,877459 litros (porosidade = 0,45)

Taxa Volumétrica Total = **2500,99 Lfiltro/Lcarvão**

Tabela B10 - Continuação dos resultados do ensaio 13, realizado com a água tipo II

Ensaio 13 - Agua tipo II - Continuação

Dia 14/10/99

início: 7:55

término: 16:30

Tempo (min.)	pH		Conc. de Prata (mg/L)		Coliformes Totais (ind/100ml)		Coliformes Fecais (ind/100ml)	
	A Tipo II	Efluente	A Tipo II	Efluente	A Tipo II	Efluente	A Tipo II	Efluente
1711	6,81	7,35	-	0,114	1.777,0	-	1200	-
1770	6,85	6,90	-	0,090	2.120,2	1.522,5	1326	985,2
1860	6,91	6,89	-	0,139	1.750,0	1,5	415	-
1950	7,18	6,97	-	0,110	1.685,2	18,5	399,6	5,1
2040	7,29	7,06	-	0,130	1.528,9	-	1200	-
2130	7,39	7,28	-	0,920	1.825,3	7,6	1352,5	4,2
2220	7,57	7,42	-	0,078	1.956,5	58,0	1632,3	8,9

Tabela B11 - Resultados do ensaio 14, realizado com a água tipo II

Ensaio 14 - Água tipo II
 Dia 19/10/99
 início: 8:00
 término: 16:30

Características do Filtro Piloto: d(mm) = 92
 A(m²) = 0,006647
 H(m) = 0,24

Tempo (min.)	Turbidez (uT)		Cor Aparente (uC)		Abs. λ = 254 nm		COT (mg/L)		Vazão (L/h)	Taxa (m ³ /m ² d)	Vol. Parcial (L)
	A Tipo II	Efluente	A Tipo II	Efluente	A Tipo II	Efluente	A Tipo II	Efluente			
2220,5	0,96	0,39	7	7	0,010	0,007	0,668	0,54	58,48	211,14	
2221,5	0,96	8,56	7	57	0,010	0,078	0,668	0,575	58,48	211,14	0,97
2223,5	0,96	0,92	7	5	0,010	0,008	0,668	1,279	58,48	211,14	1,95
2226,5	0,96	0,83	7	9	0,010	0,007	0,668	0,283	58,48	211,14	2,92
2229,5	0,96	0,65	7	4	0,010	0,007	0,668	0,475	58,48	211,14	2,92
2280	0,96	0,73	4	2	0,007	0,007	0,547	0,433	58,50	211,20	49,24
2370	0,93	0,68	4	2	0,009	0,007	1,409	0,432	57,32	206,97	85,99
2460	0,80	0,64	3	3	0,080	0,005	0,579	0,507	57,22	206,61	85,84
2550	0,86	0,72	3	5	0,006	0,010	0,368	0,297	59,30	214,09	88,95
2640	0,89	0,57	4	5	0,007	0,008	0,459	0,430	63,34	228,67	95,00
2750	1,06	0,57	4	5	0,009	0,009	1,237	0,511	52,33	188,95	95,94

Vol. Total filtrado = Somatória dos volumes determinados a cada análise.

Vol Total filtrado no ensaio14= **509,73 litros**

Volume acumulado = 2704,24 litros

Taxa Volumétrica Total = VfiltradoTotal/Vcarvão

onde Vcarvão = 0,877459 litros (porosidade = 0,45)

Taxa Volumétrica Total = **3081,90 Lfiltro/Lcarvão**

Tabela B12 - Resultados do ensaio 14, realizado com a água tipo II

Ensaio 14 - Água tipo II - Continuação										
Dia 19/10/99										
início: 8:00										
término: 16:30										
Tempo (min.)	pH		Conc. de Prata (mg/L)		Nitrato (mg/L)		Coliformes Totais (ind/100ml)		Coliformes Fecais (ind/100ml)	
	A Tipo II	Efluente	A Tipo II	Efluente	A Tipo II	Efluente	A Tipo II	Efluente	A Tipo II	Efluente
2220,5	7,5	7,26	-	0,043	0,0237	0,0153	2.398	-	178,5	-
2221,5	7,5	7,16	-	0,060	0,0237	0,3800	2.398	-	178,5	-
2223,5	7,5	6,9	-	0,059	0,0237	0,0269	2.398	1	178,5	-
2226,5	7,5	6,94	-	0,063	0,0237	0,0111	2.398	-	178,5	-
2229,5	7,50	7,02	-	0,069	0,0237	0,0000	2.398	1	178,5	-
2280	7,50	7,50	-	0,051	0,0171	0,0032	2.291	2.291	121,1	186,10
2370	7,80	7,53	-	0,026	0,0190	0,0000	2.380	2.350	86,2	69,70
2460	8,00	7,89	-	0,048	0,0195	0,0050	1.553	1.553	108,8	62,70
2550	8,05	7,66	-	0,056	0,0000	0,0288	166	-	1	-
2640	8,03	8,02	-	0,023	0,0586	0,0278	2.350	160	3	1,00
2750	8,13	8,04	-	0,019	0,0455	0,0274	2.400	2.400	56,3	7,40

Tabela B13 - Resultados do ensaio 15, realizado com a água tipo II

Ensaio 15 - Água tipo II

Dia 21/10/99

início: 8:15

término: 16:45

Características do Filtro Piloto:

d(mm) = 92

A(m²) = 0,00665

H(m) = 0,24

Tempo (min.)	Turbidez (uT)		Cor Aparente (uC)		Abs. λ = 254 nm		COT (mg/L)		Vazão (L/h)	Taxa (m ³ /m ² d)	Vol. Parcial (L)
	A Tipo II	Efluente	A Tipo II	Efluente	A Tipo II	Efluente	A Tipo II	Efluente			
2750,5	1,01	1,24	4	5	0,008	0,007	1,383	1,016	58,82	212,38	
2751,5	1,01	2,23	4	17	0,008	0,028	1,383	1,484	58,82	212,37	0,98
2753,5	1,01	0,99	4	2	0,008	0,006	1,383	0,799	58,82	212,37	1,96
2756,5	1,01	0,77	4	3	0,008	0,007	1,383	0,837	58,82	212,37	2,94
2759,5	1,01	0,81	4	2	0,008	0,06	1,383	0,751	58,82	212,37	2,94
2810	0,93	0,89	2	2	0,007	0,009	1,065	0,928	58,59	211,55	49,32
2900	0,88	0,92	2	1	0,007	0,009	1,498	0,870	58,54	211,34	87,80
3080	0,92	0,89	2	3	0,006	0,008	1,073	0,846	58,06	209,64	174,19
3170	0,90	1,03	2	4	0,007	0,008	0,587	0,591	57,99	209,37	86,98
3260	0,94	0,92	4	2	0,011	0,010	0,633	0,591	57,10	206,15	85,65

Vol. Total filtrado = Somatória dos volumes determinados a cada análise.

Vol Total filtrado no ensaio 15= **492,77 litros**

Volume acumulado = 3197,01 litros

Taxa Volumétrica Total = VfiltradoTotal/Vcarvão

onde Vcarvão = 0,877 litros

(porosidade = 0,45)

Taxa Volumétrica Total = **3643,49 Lfiltrado/Lcarvão**

Tabela B14 - Resultados do ensaio 15, realizado com a água tipo II

Ensaio 15 - Água tipo II - Continuação										
Dia 21/10/99										
início: 8:15										
término: 16:45										
Tempo (min.)	pH		Conc. de Prata (mg/L)		Nitrato (mg/L)		Coliformes Totais (ind/100ml)		Coliformes Fecais (ind/100ml)	
	A Tipo II	Efluente	A Tipo II	Efluente	A Tipo II	Efluente	A Tipo II	Efluente	A Tipo II	Efluente
2750,5	7,57	8,17	-	0,047	0,0367	0,0344	1203,5	0	602	0
2751,5	7,57	7,9	-	0,090	0,0367	0,1471	1203,5	727	602	462
2753,5	7,57	7,81	-	0,063	0,0367	0,0129	1203,5	125	602	85
2756,5	7,57	7,91	-	0,098	0,0367	0,0381	1203,5	111	602	86
2759,5	7,57	7,84	-	0,063	0,0367	0,0143	1.203,5	261,3	602	142,0
2810	7,30	8,15	-	0,059	0,0000	0,0264	686,7	-	1326	985,2
2900	7,38	7,90	-	0,003	0,0073	0,0041	579,4	410,6	415	321,0
3080	7,96	8,20	-	-	0,0000	0,0330	307,6	-	299	5,1
3170	8,17	8,17	-	0,038	0,0000	0,0083	727,7	-	685	-
3260	8,15	7,99	-	0,016	0,2705	0,0134	613,0	147,6	562	4,2

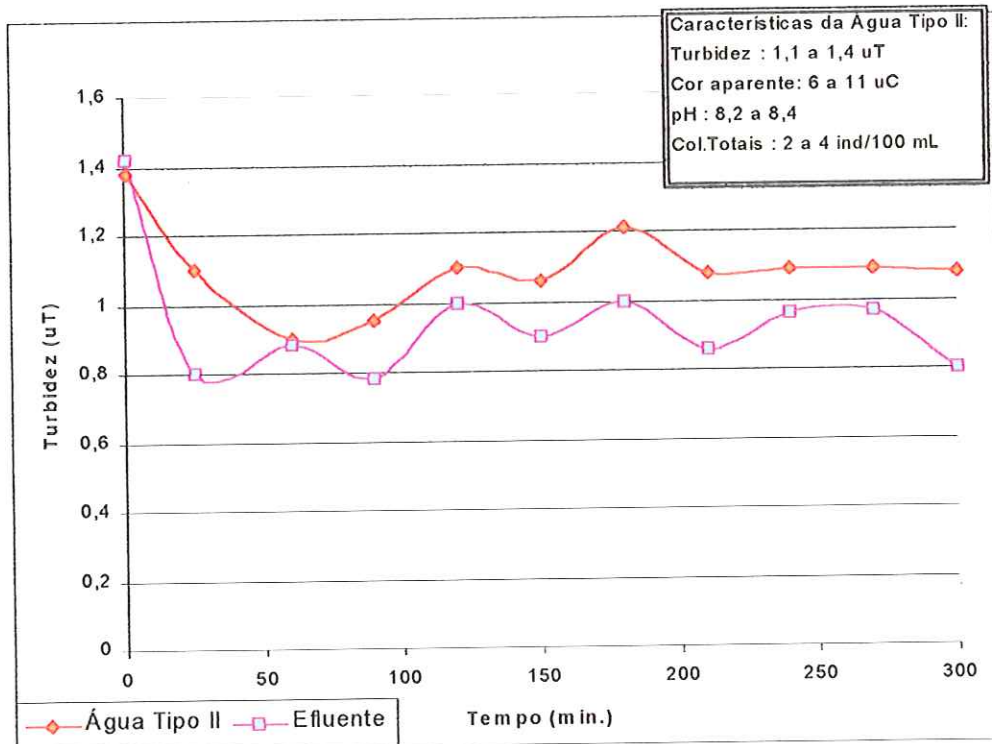


FIGURA B1 – Variação da Turbidez da água tipo II e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 9. Temp.: $25 \pm 1^\circ \text{C}$

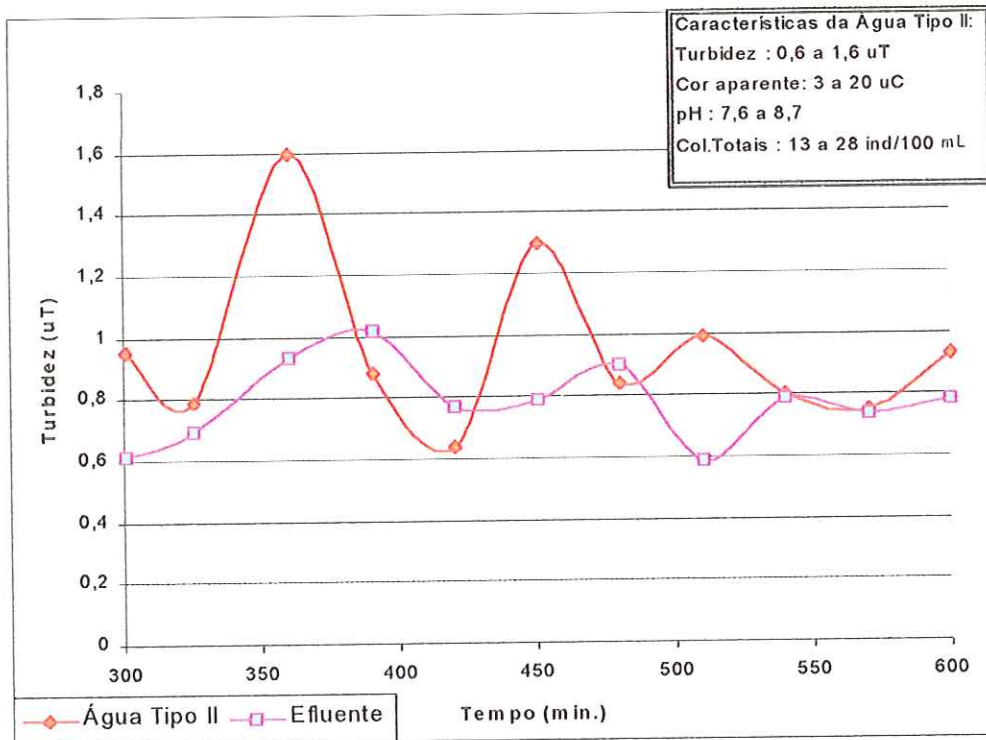


FIGURA B2 – Variação da Turbidez da água tipo II e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 10. Temp.: $25 \pm 1^\circ \text{C}$

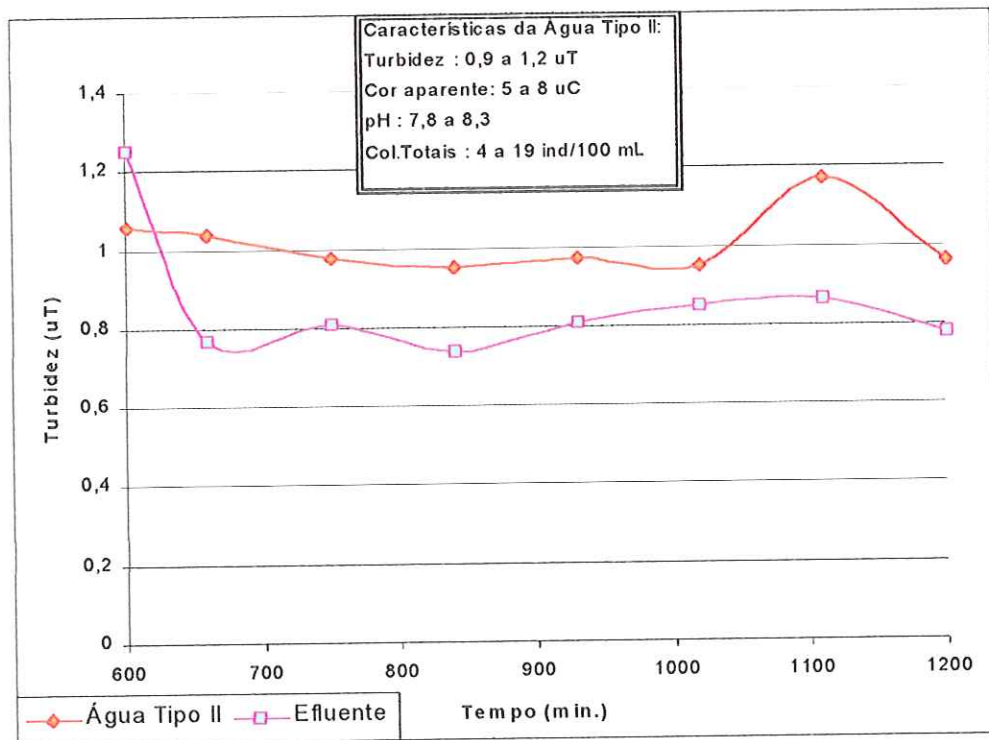


FIGURA B3 – Variação da Turbidez da água tipo II e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 11. Temp.: 25 ± 1° C

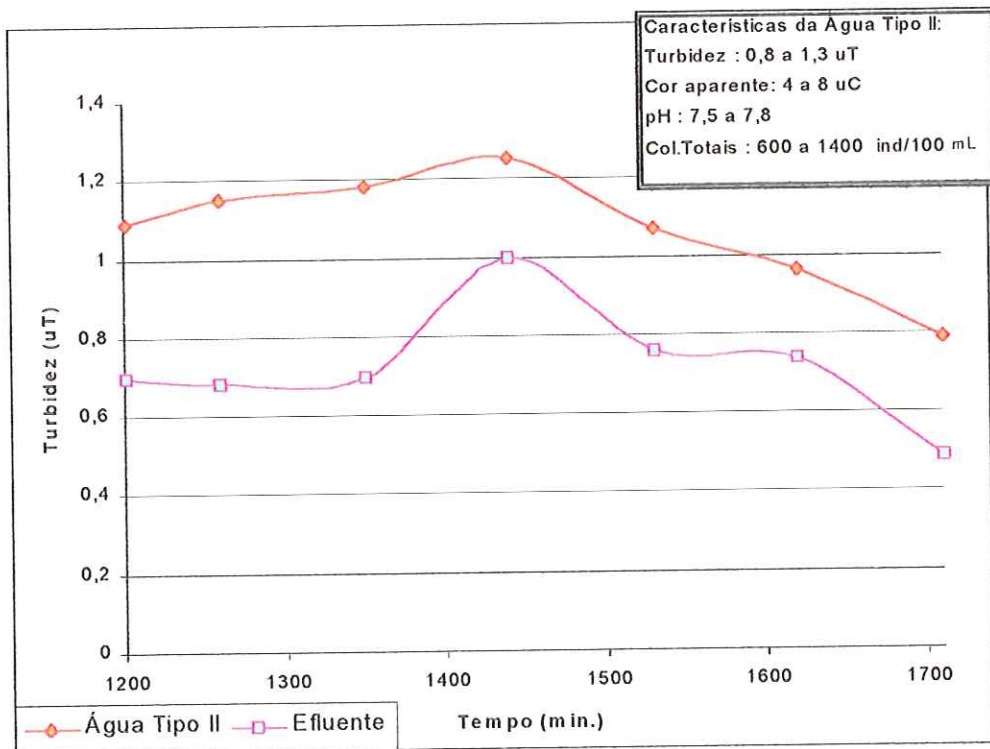


FIGURA B4 – Variação da Turbidez da água tipo II e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 12. Temp.: 25 ± 1° C

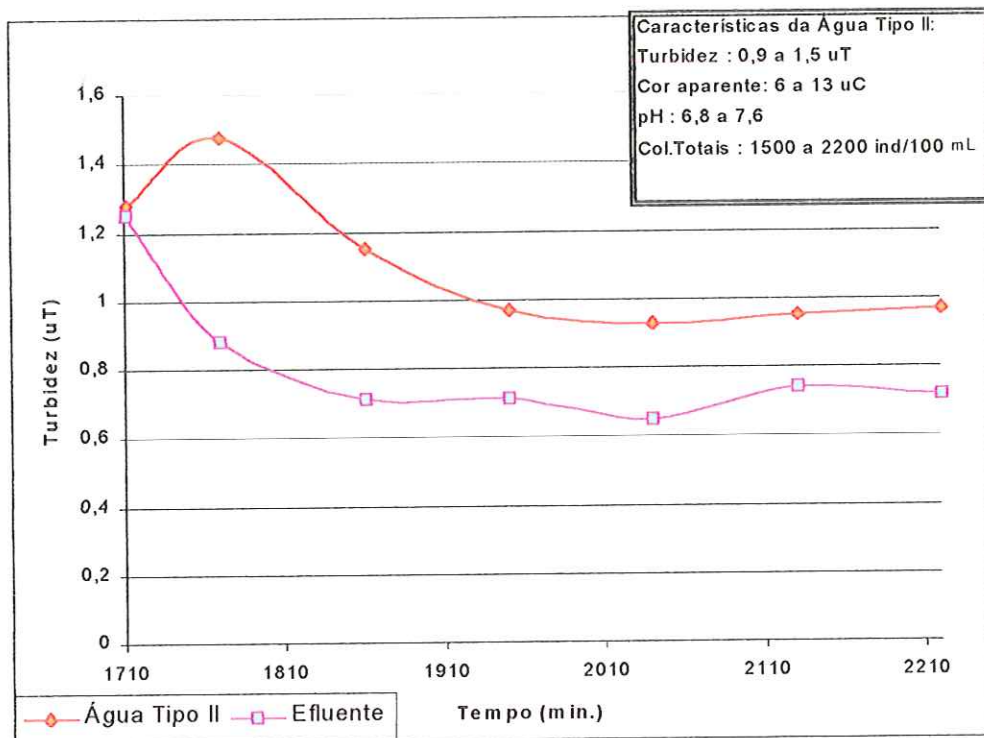


FIGURA B5 – Variação da Turbidez da água tipo II e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 13. Temp.: $25 \pm 1^\circ \text{C}$

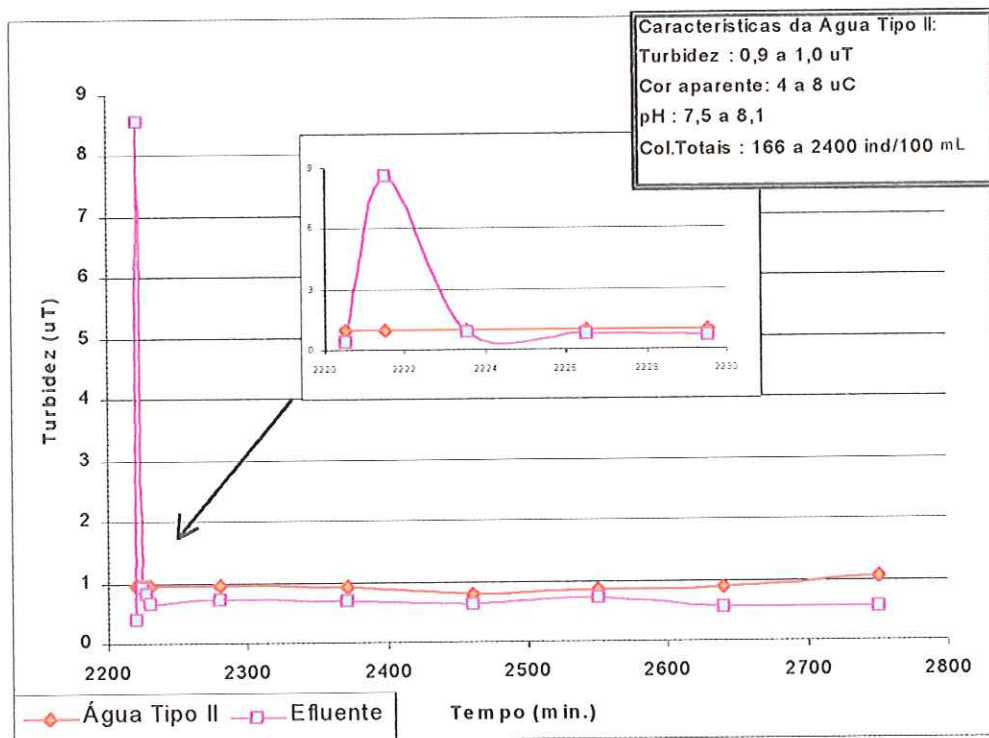


FIGURA B6 – Variação da Turbidez da água tipo II e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 14. Temp.: $25 \pm 1^\circ \text{C}$

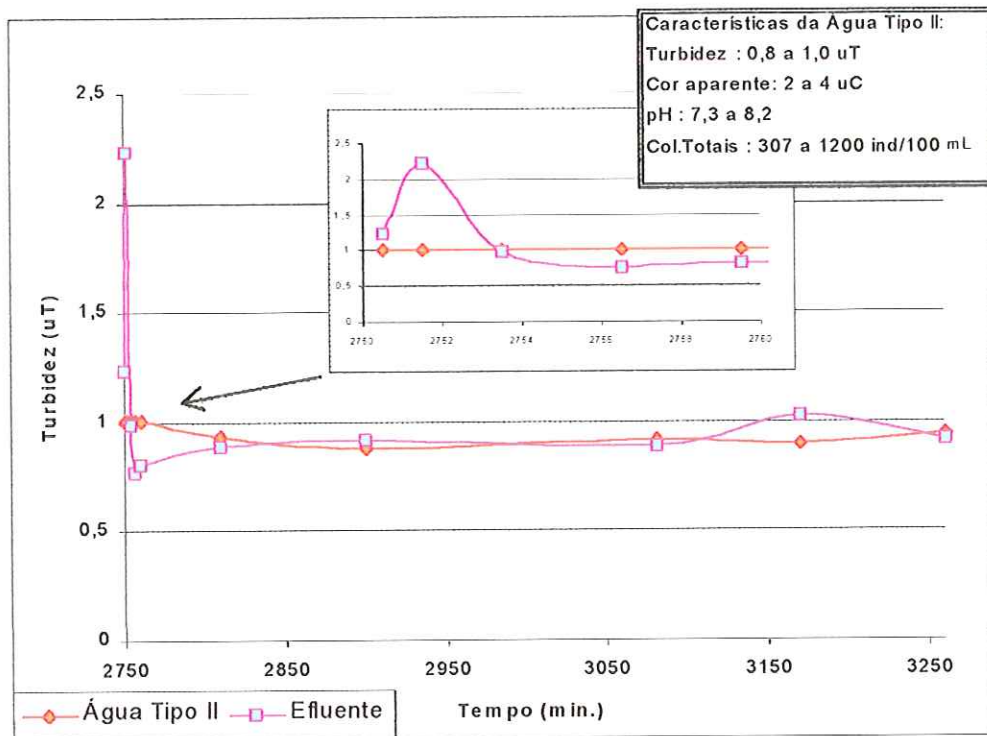


FIGURA B7 – Variação da Turbidez da água tipo II e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 15. Temp.: 25 ± 1° C

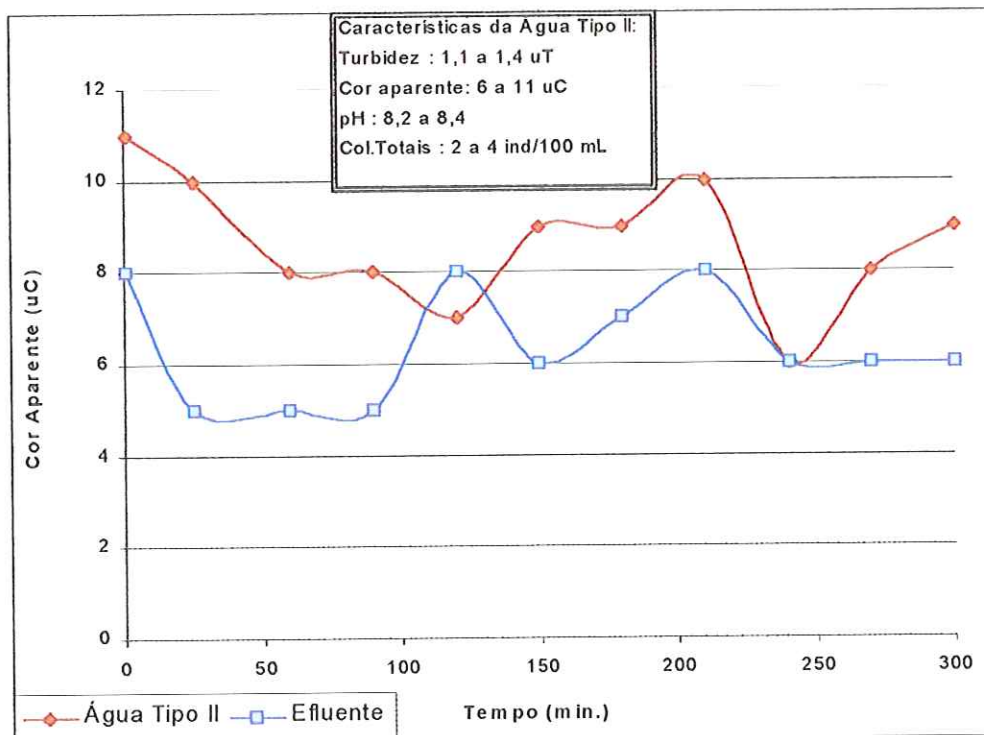


FIGURA B8 – Variação da Cor Aparente da água tipo II e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 9. Temp.: $25 \pm 1^\circ \text{C}$

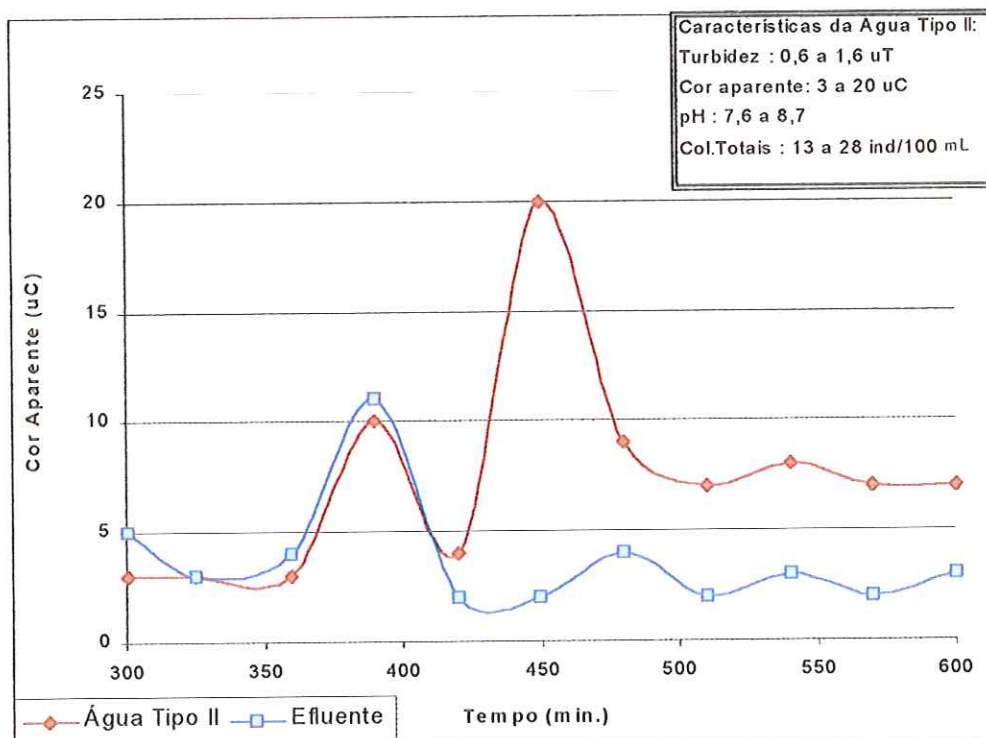


FIGURA B9 – Variação da Cor Aparente da água tipo II e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 10. Temp.: $25 \pm 1^\circ \text{C}$

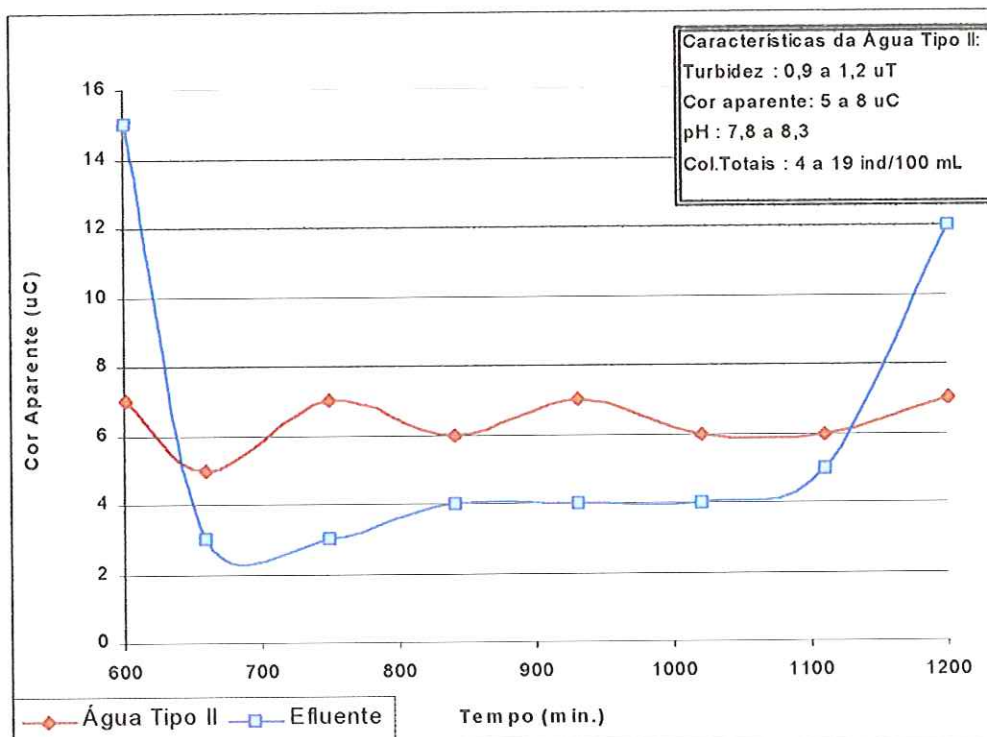


FIGURA B10 – Variação da Cor Aparente da água tipo II e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 11. Temp.: $25 \pm 1^\circ \text{C}$

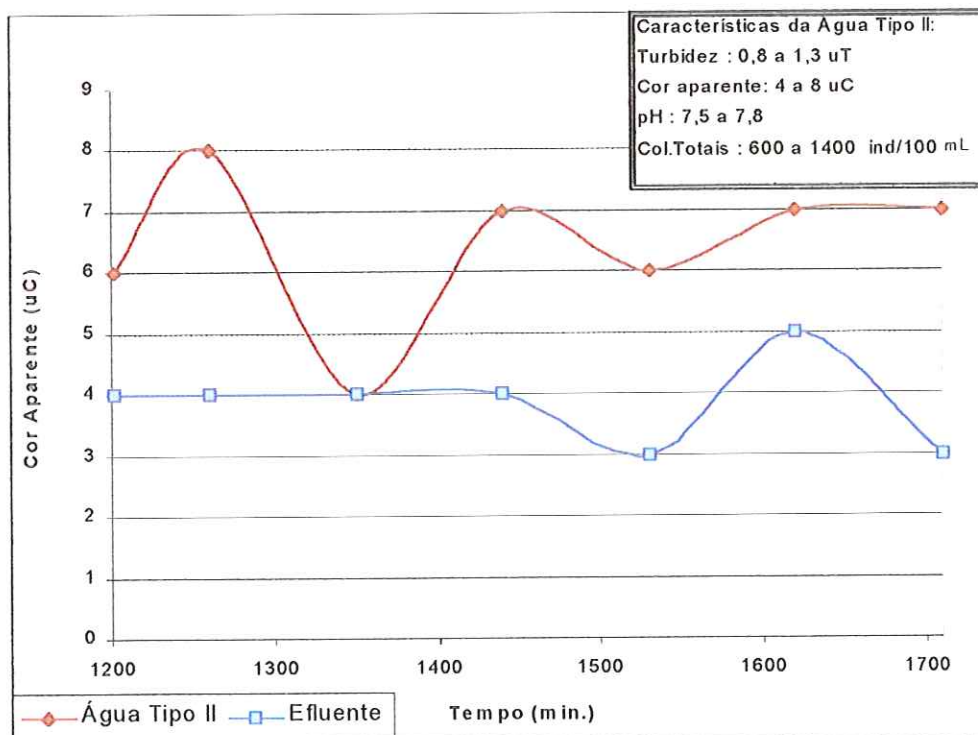


FIGURA B11 – Variação da Cor Aparente da água tipo II e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 12. Temp.: $25 \pm 1^\circ \text{C}$

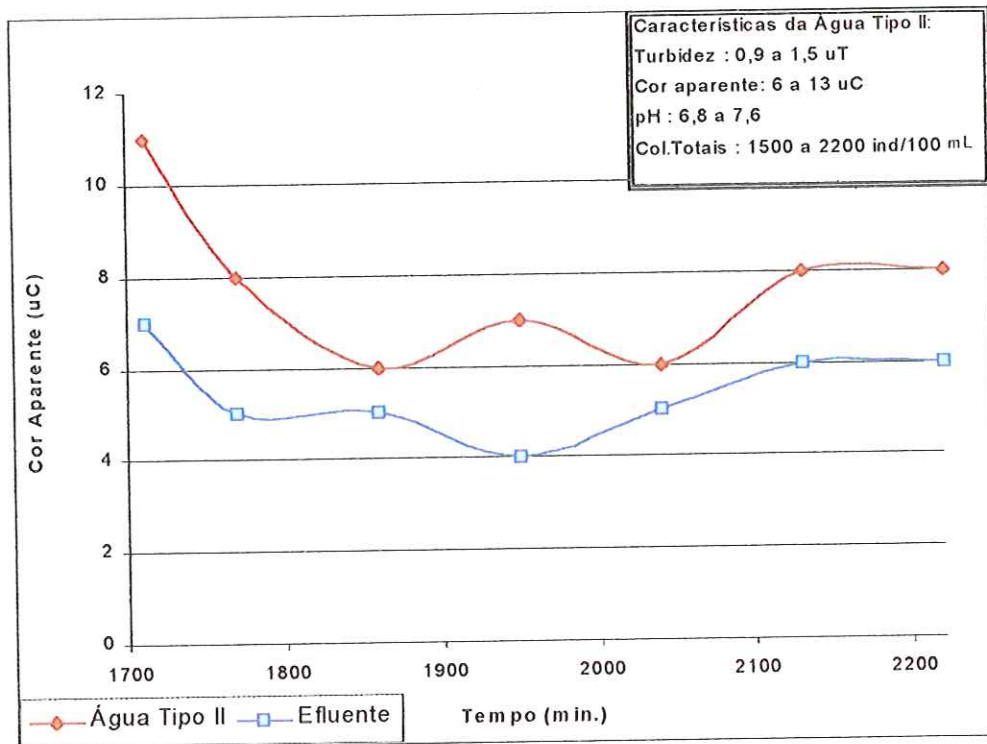


FIGURA B12 – Variação da Cor Aparente da água tipo II e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 13. Temp.: $25 \pm 1^\circ \text{C}$

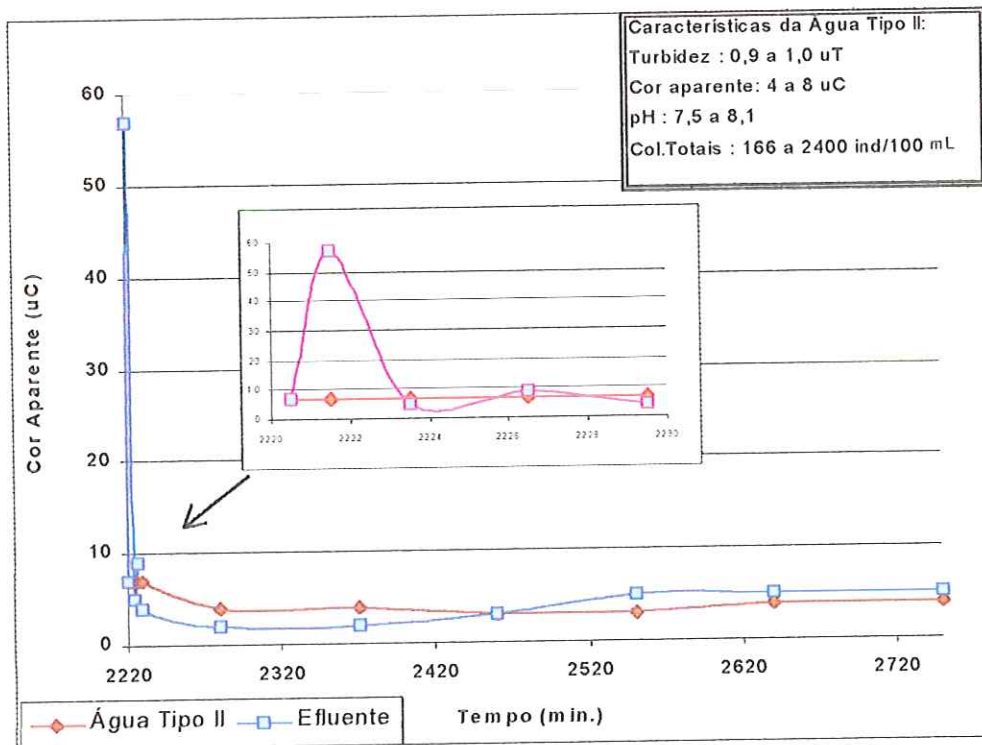


FIGURA B13 – Variação da Cor Aparente da água tipo II e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 14. Temp.: $25 \pm 1^\circ \text{C}$

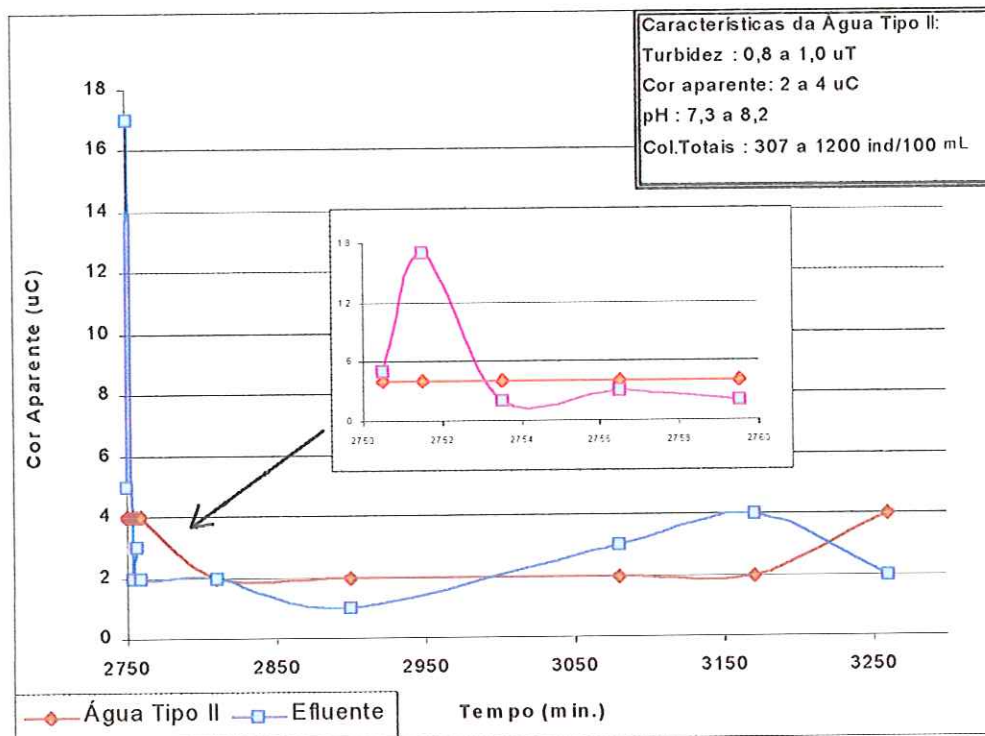


FIGURA B14 – Variação da Cor Aparente da água tipo II e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 15. Temp.: 25 ± 1° C

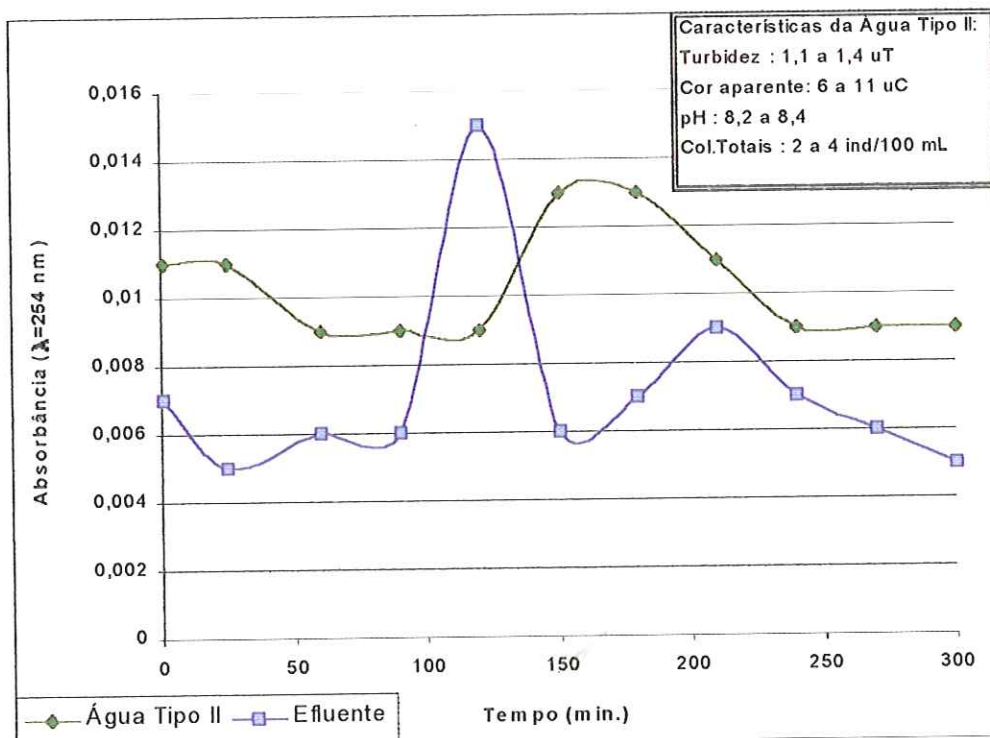


FIGURA B15 – Variação da Absorbância ($\lambda=254\text{nm}$) da água tipo II e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 9. Temp.: $25 \pm 1^\circ \text{C}$

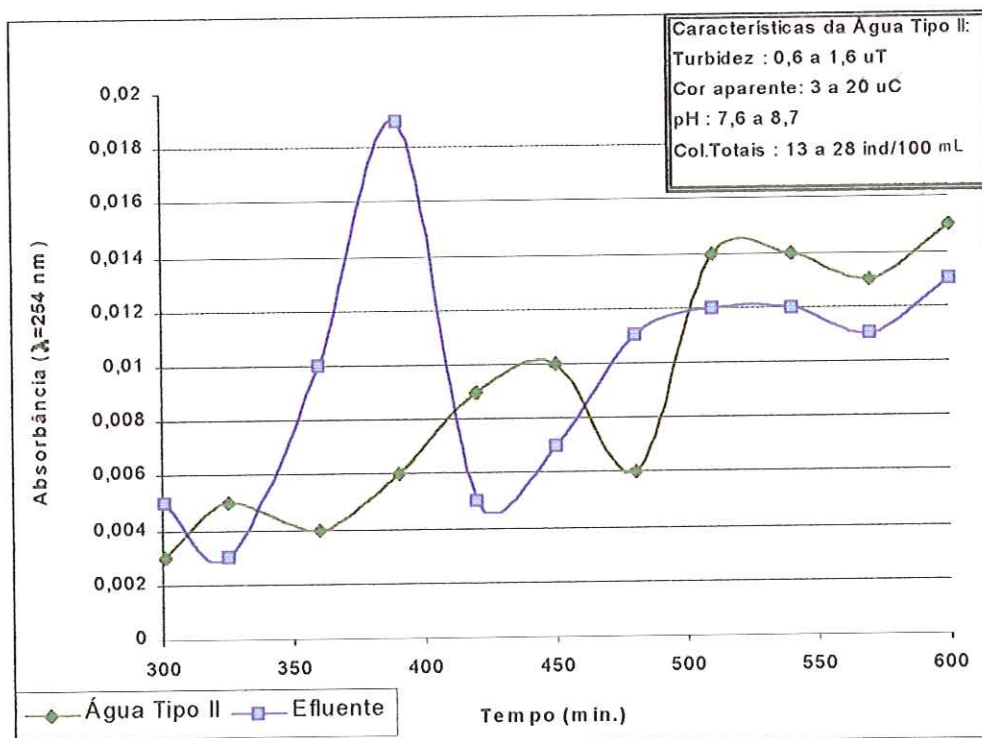


FIGURA B16 – Variação da Absorbância ($\lambda=254\text{nm}$) da água tipo II e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 10. Temp.: $25 \pm 1^\circ \text{C}$

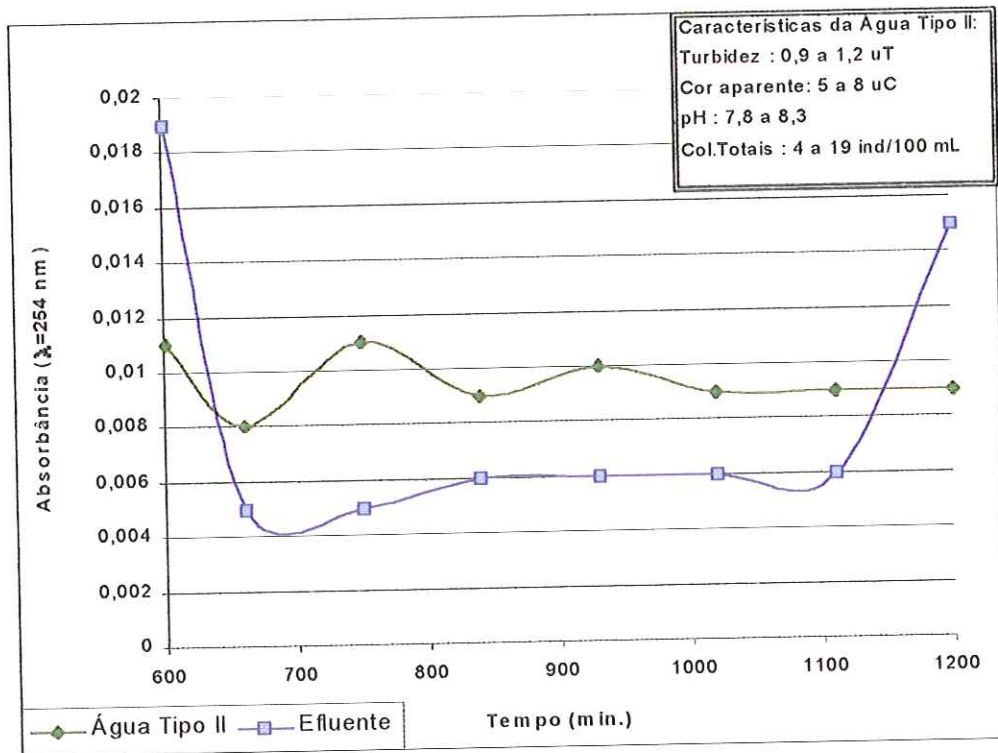


FIGURA B17 – Variação da Absorbância ($\lambda=254\text{nm}$) da água tipo II e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 11. Temp.: $25 \pm 1^\circ \text{C}$

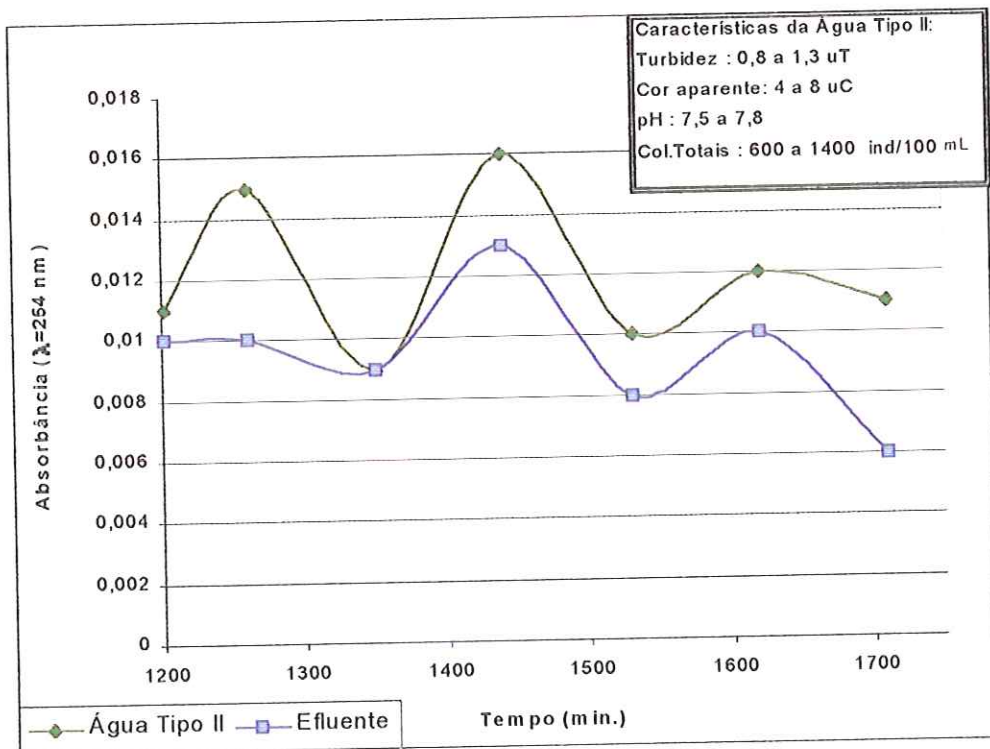


FIGURA B18 – Variação da Absorbância ($\lambda=254\text{nm}$) da água tipo II e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 12. Temp.: $25 \pm 1^\circ \text{C}$

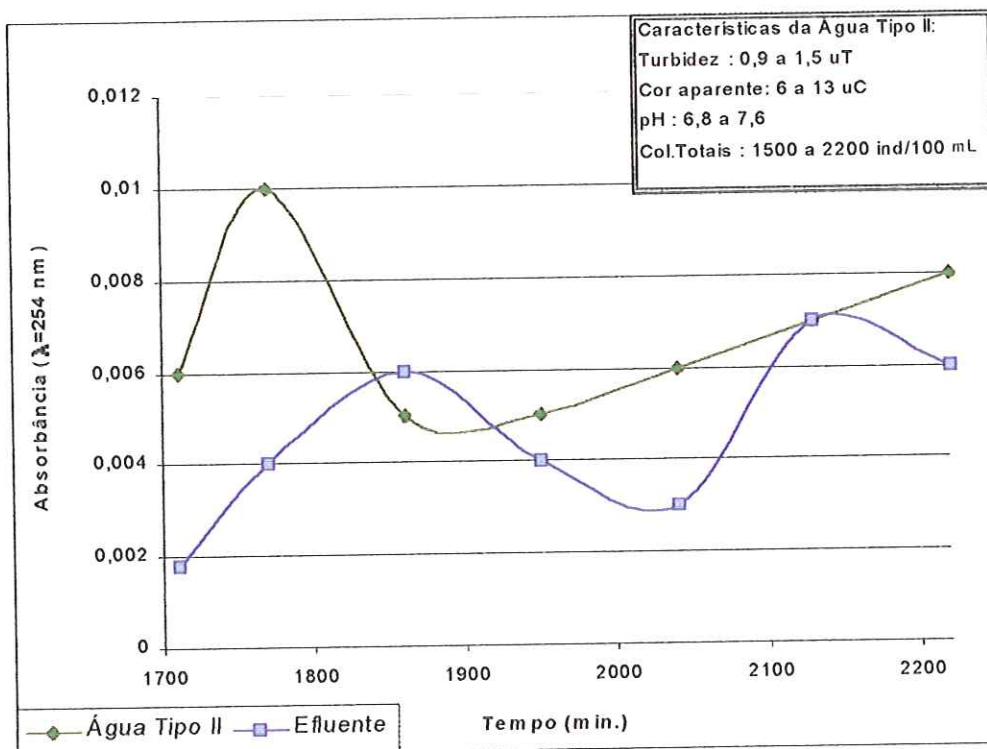


FIGURA B19 – Variação da Absorbância ($\lambda=254\text{nm}$) da água tipo II e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 13. Temp.: $25 \pm 1^\circ \text{C}$

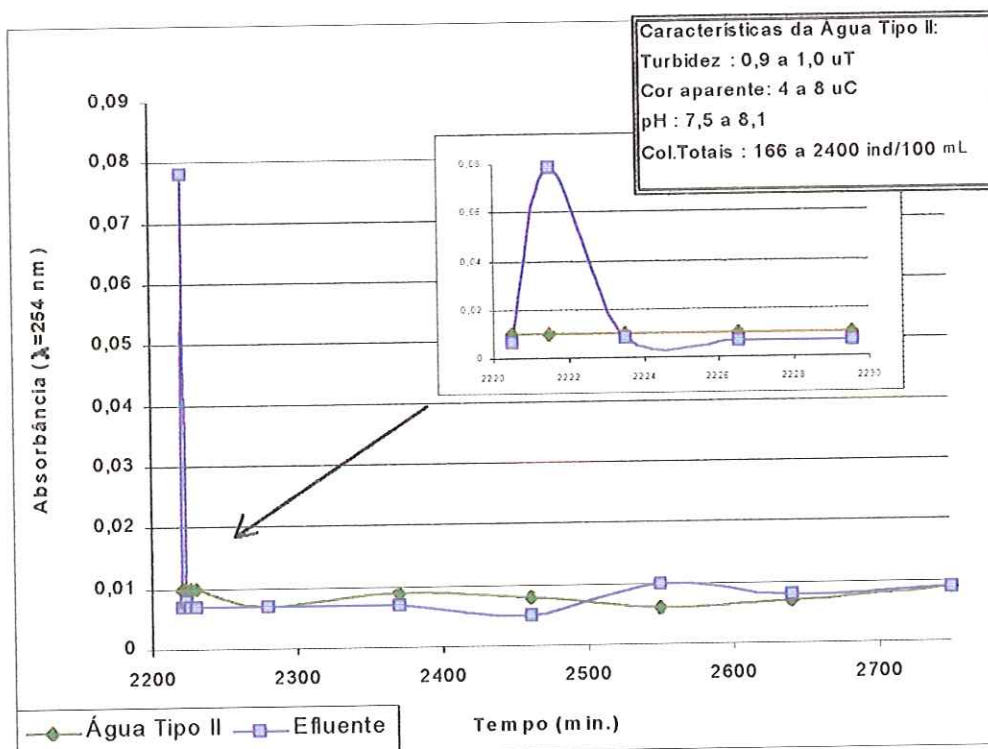


FIGURA B20 – Variação da Absorbância ($\lambda=254\text{nm}$) da água tipo II e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 14. Temp.: $25 \pm 1^\circ \text{C}$

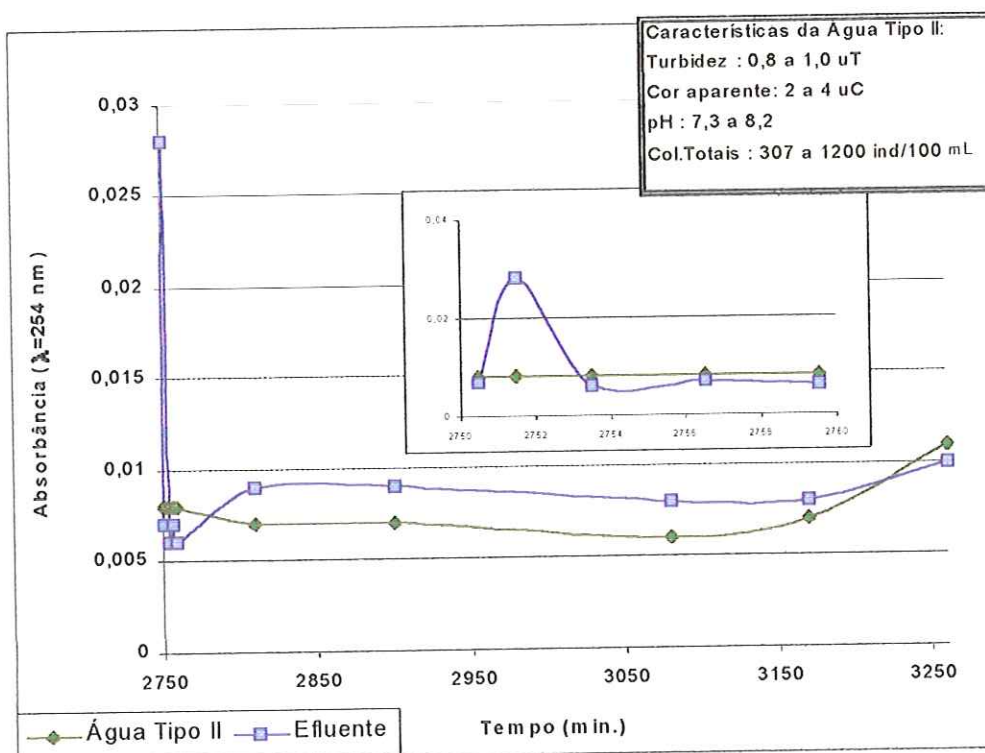


FIGURA B21 – Variação da Absorbância ($\lambda=254\text{nm}$) da água tipo II e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 15. Temp.: $25 \pm 1^\circ\text{C}$

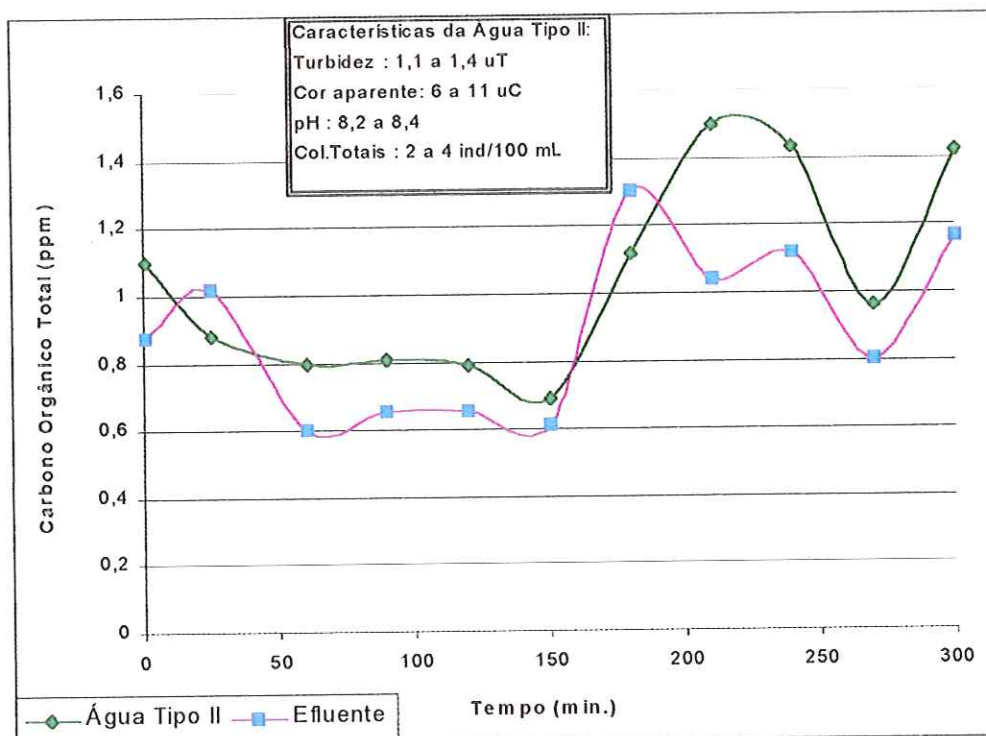


FIGURA B22 – Variação do Carbono Orgânico Total da água tipo II e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 9. Temp.: $25 \pm 1^\circ \text{C}$

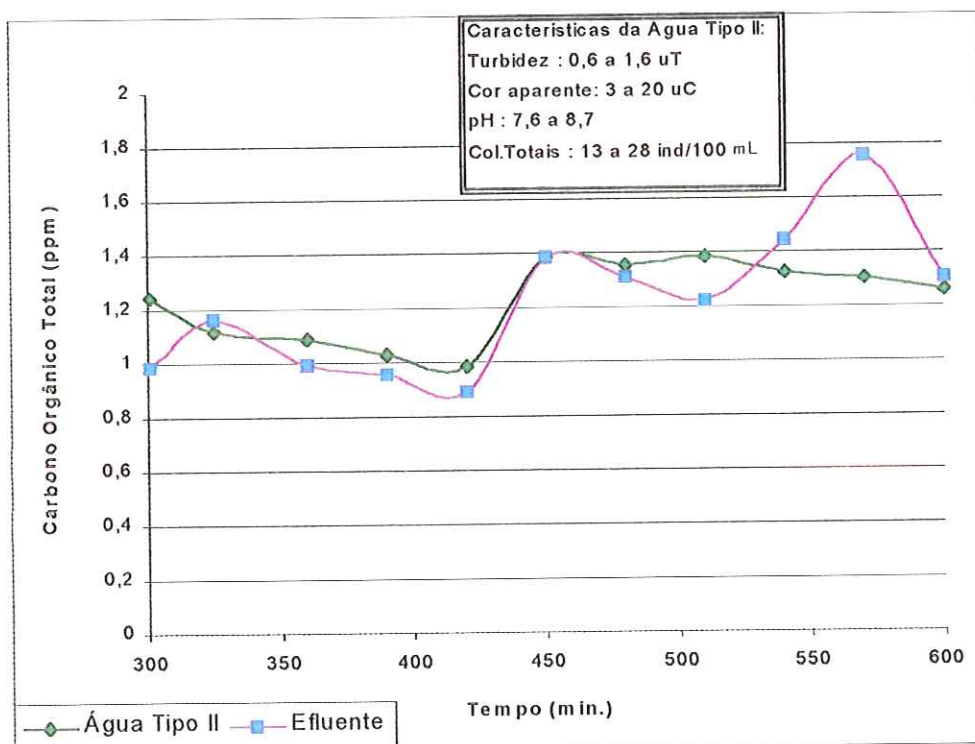


FIGURA B23 – Variação do Carbono Orgânico Total da água tipo II e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 10. Temp.: $25 \pm 1^\circ \text{C}$

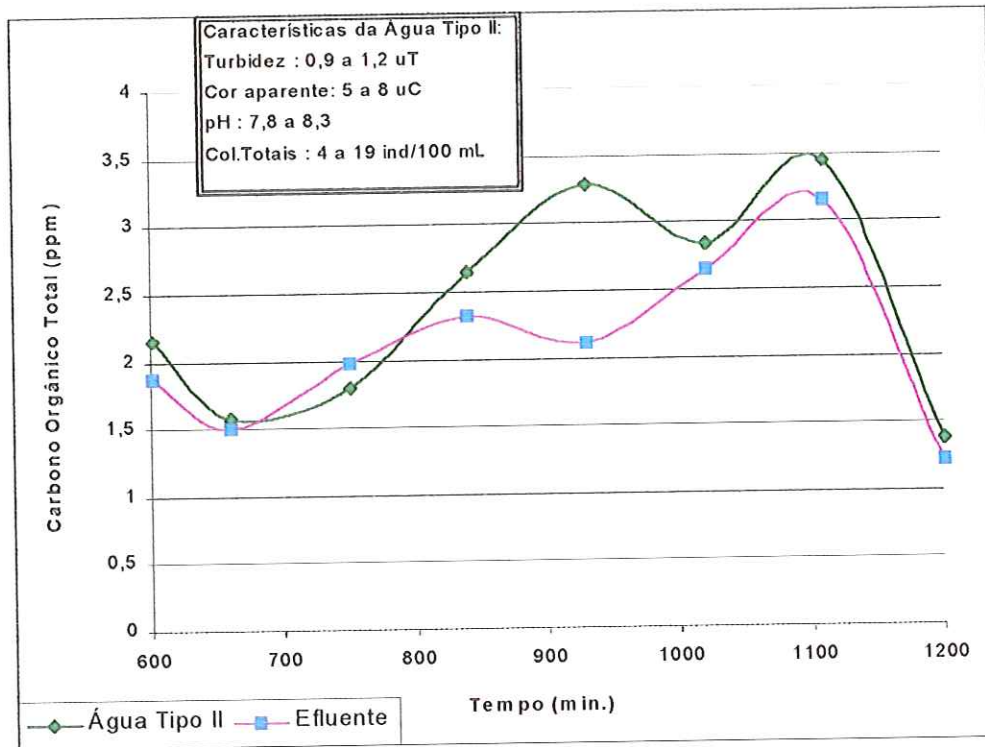


FIGURA B24 – Variação do Carbono Orgânico Total da água tipo II e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 11. Temp.: 25 ± 1° C

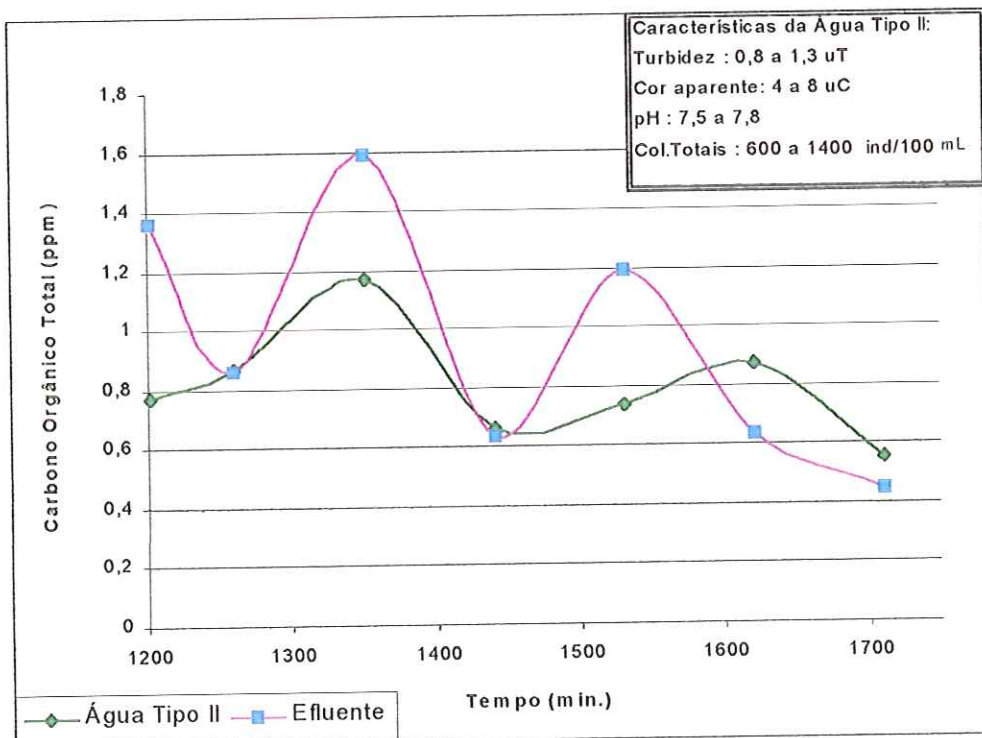


FIGURA B25 – Variação do Carbono Orgânico Total da água tipo II e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 12. Temp.: 25 ± 1° C

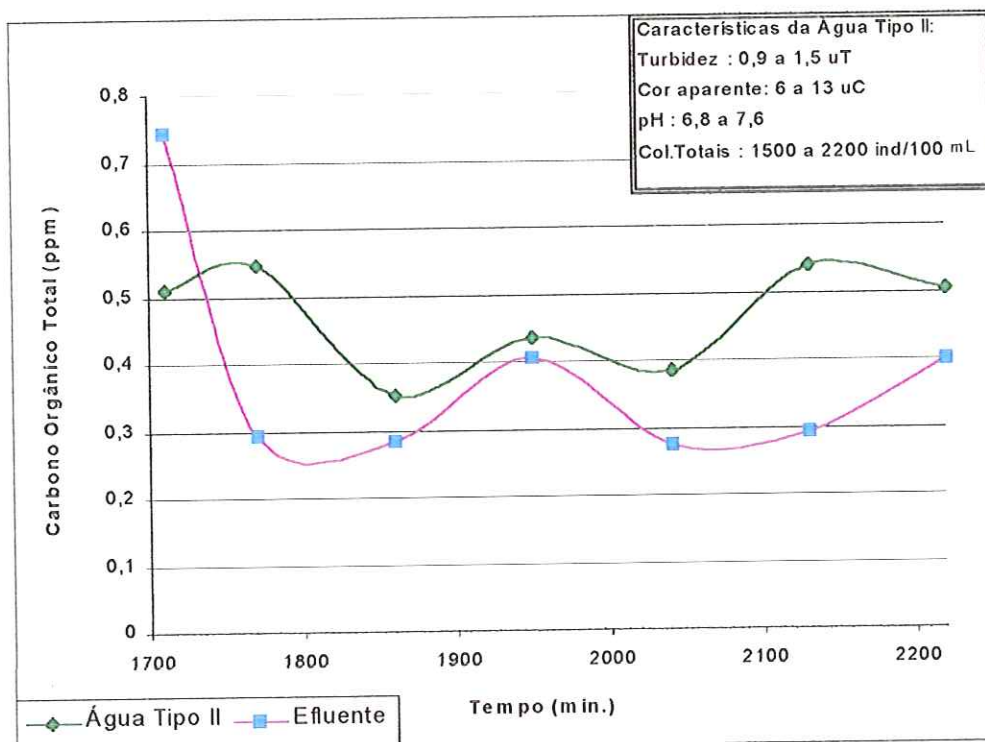


FIGURA B26 – Variação do Carbono Orgânico Total da água tipo II e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 13. Temp.: 25 ± 1° C

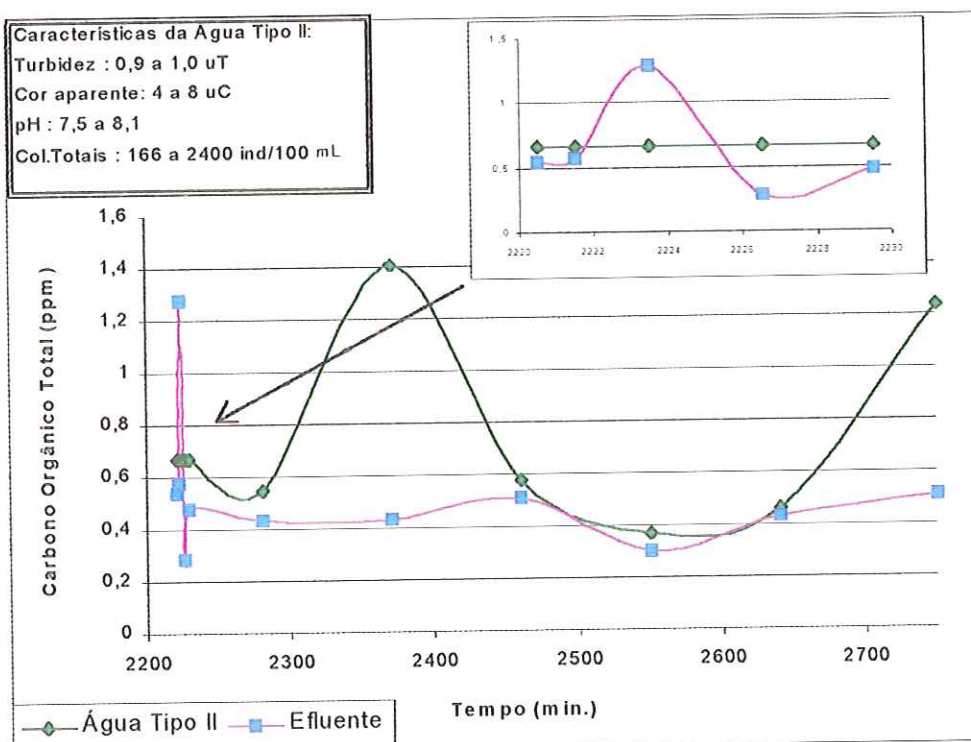


FIGURA B27 – Variação do Carbono Orgânico Total da água tipo II e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 14. Temp.: 25 ± 1° C



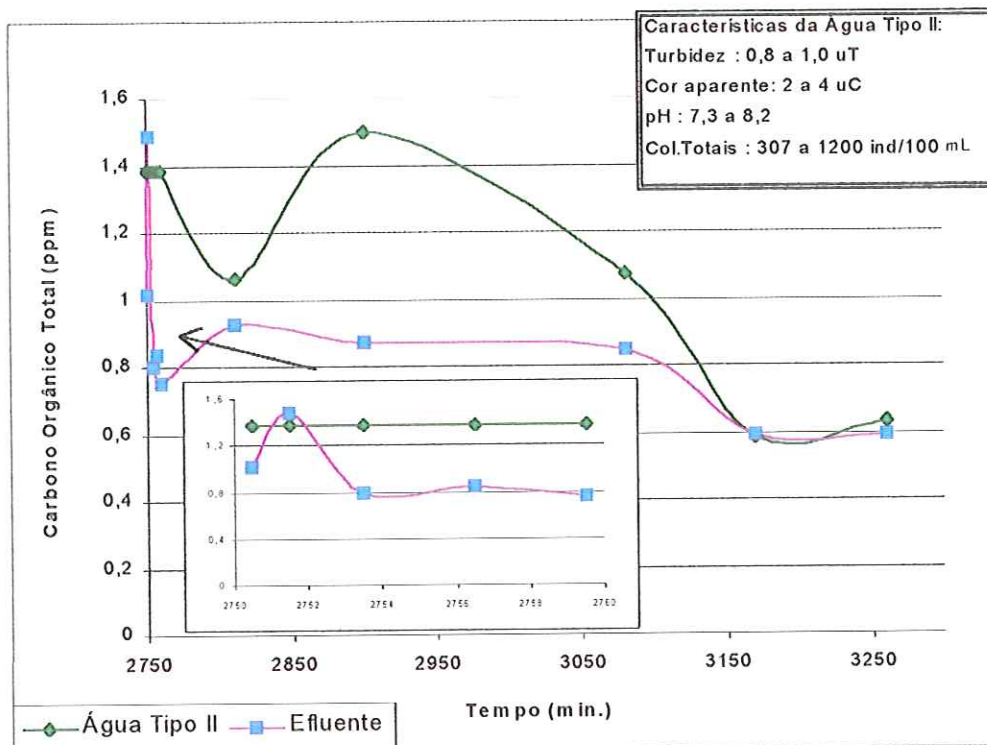


FIGURA B28 – Variação do Carbono Orgânico Total da água tipo II e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 15. Temp.: 25 ± 1° C

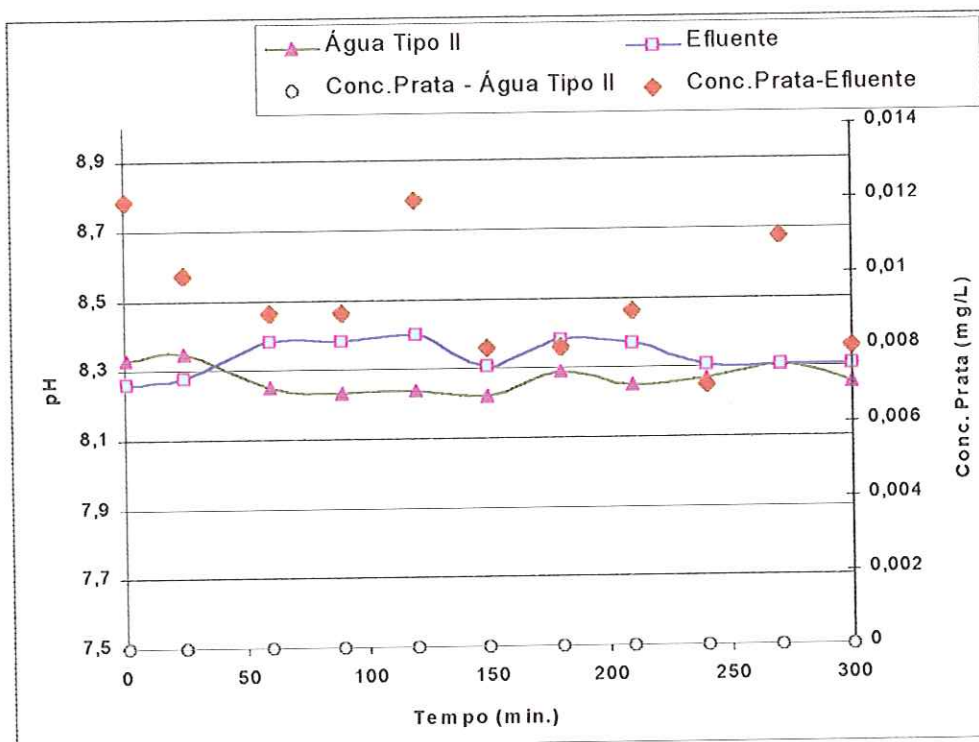


FIGURA B29 – Variação do pH e Concentração de Prata da água tipo II e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 9. Temp.: 25 ± 1° C

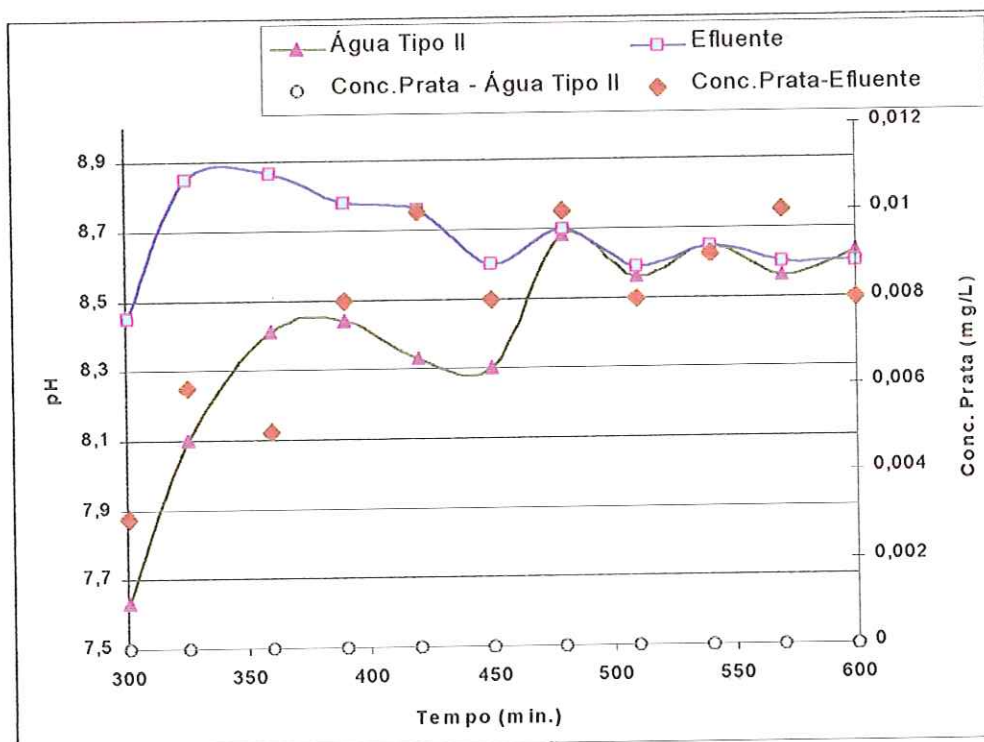


FIGURA B30 – Variação do pH e Concentração de Prata da água tipo II e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 10. Temp.: 25 ± 1° C

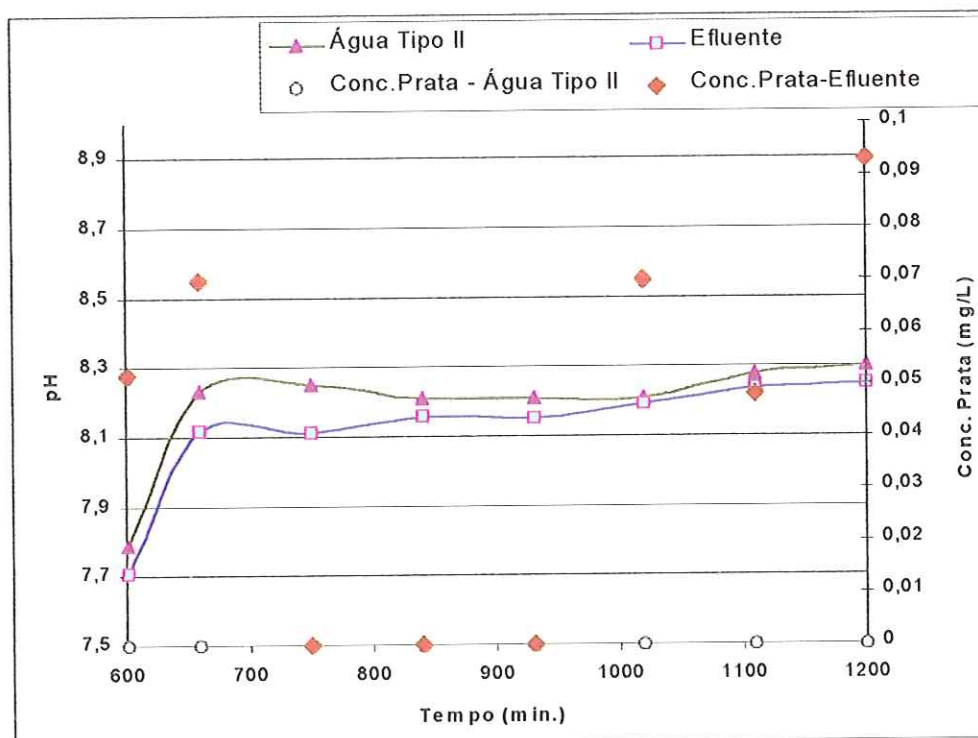


FIGURA B31 – Variação do pH e Concentração de Prata da água tipo II e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 11. Temp.: 25 ± 1° C

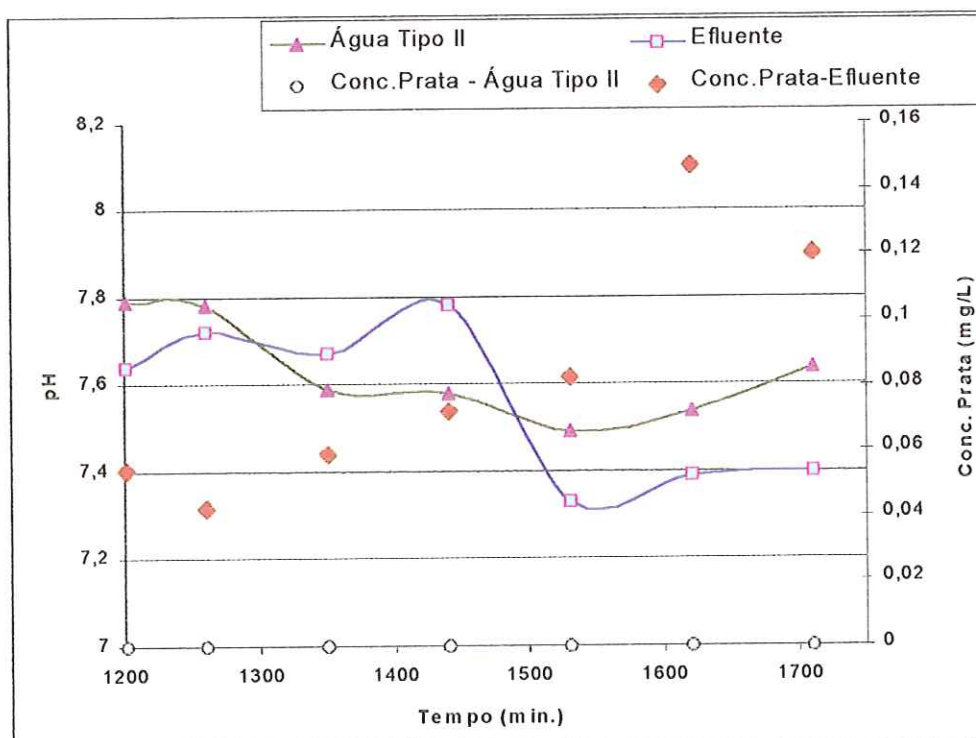


FIGURA B32 – Variação do pH e Concentração de Prata da água tipo II e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 12. Temp.: 25 ± 1° C

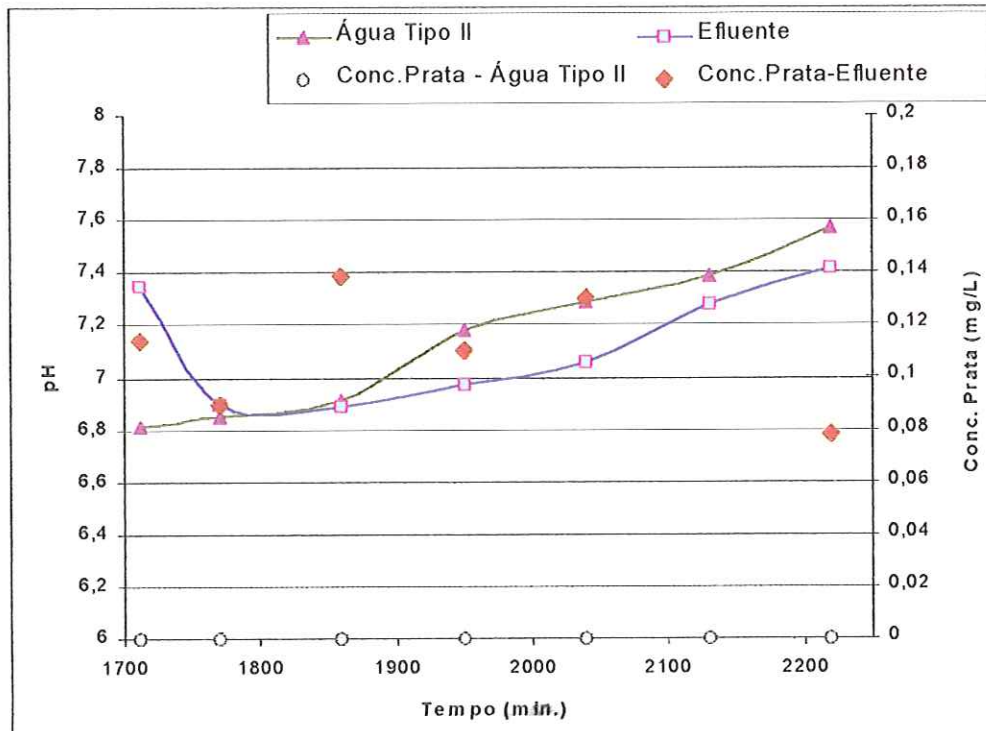


FIGURA B33 – Variação do pH e Concentração de Prata da água tipo II e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 13. Temp.: $25 \pm 1^\circ \text{C}$

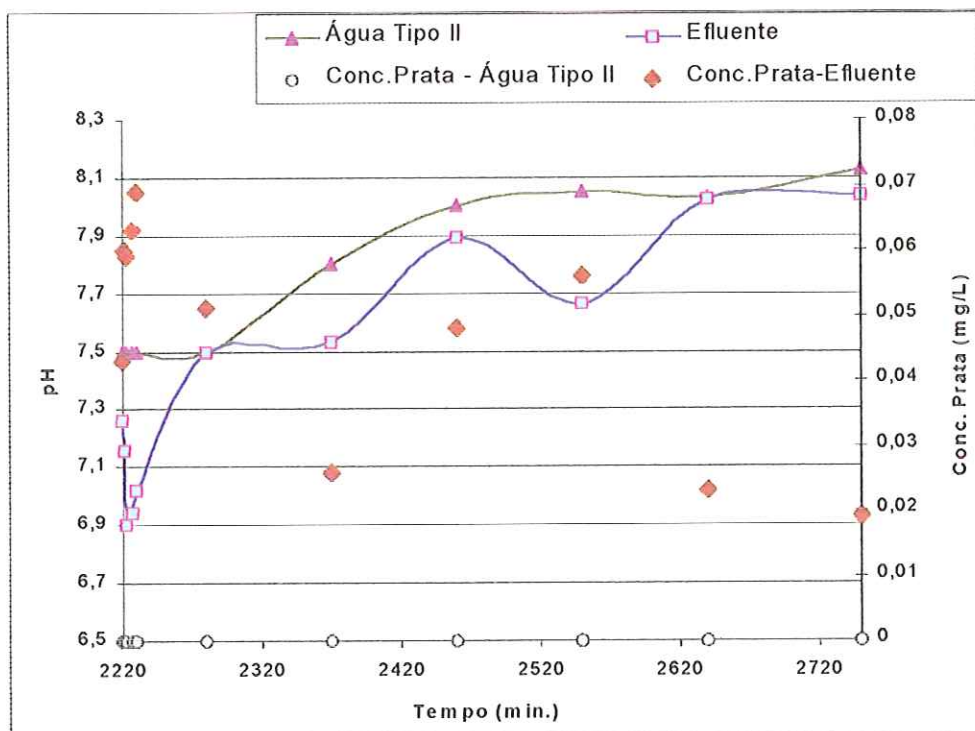


FIGURA B34 – Variação do pH e Concentração de Prata da água tipo II e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 14. Temp.: $25 \pm 1^\circ \text{C}$

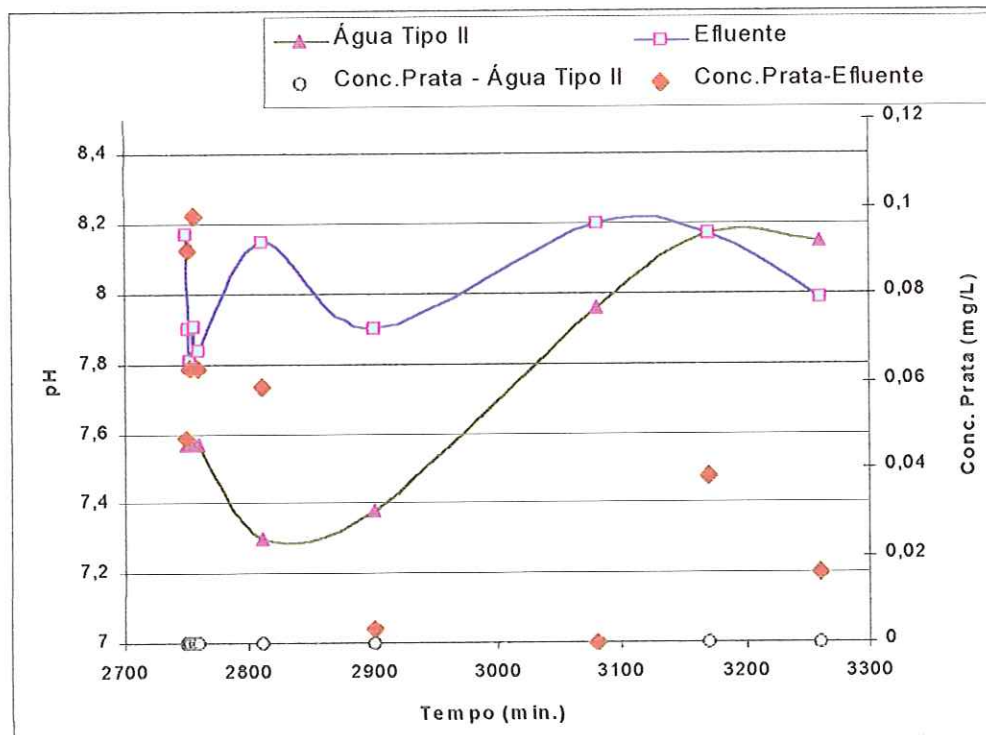


FIGURA B35 – Variação do pH e Concentração de Prata da água tipo II e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 15. Temp.: $25 \pm 1^\circ \text{C}$

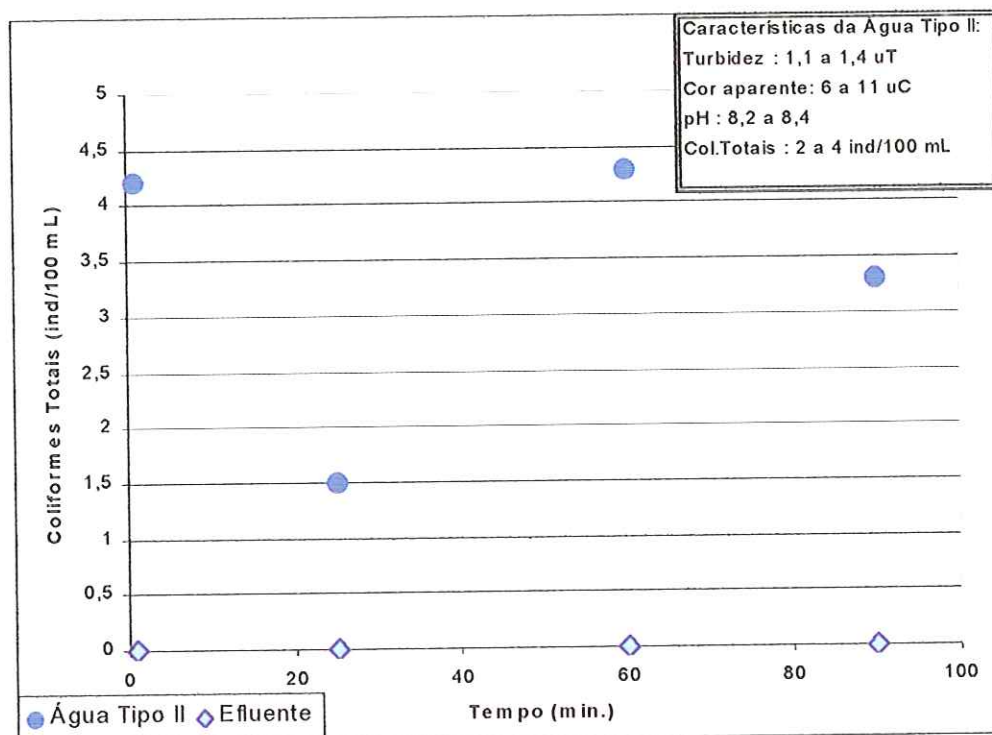


FIGURA B36 – Variação do NMP de Coliformes Totais/100 mL da água tipo II e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 9. Temp.: $25 \pm 1^\circ \text{C}$

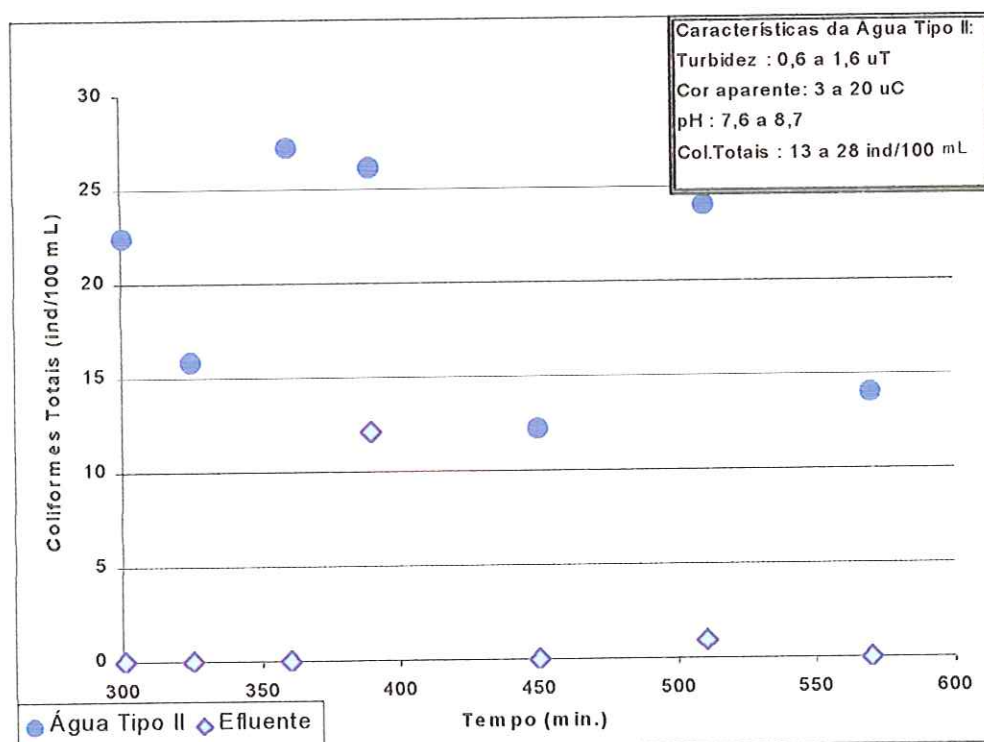


FIGURA B37 – Variação do NMP de Coliformes Totais/100 mL da água tipo II e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 10. Temp.: $25 \pm 1^\circ \text{C}$

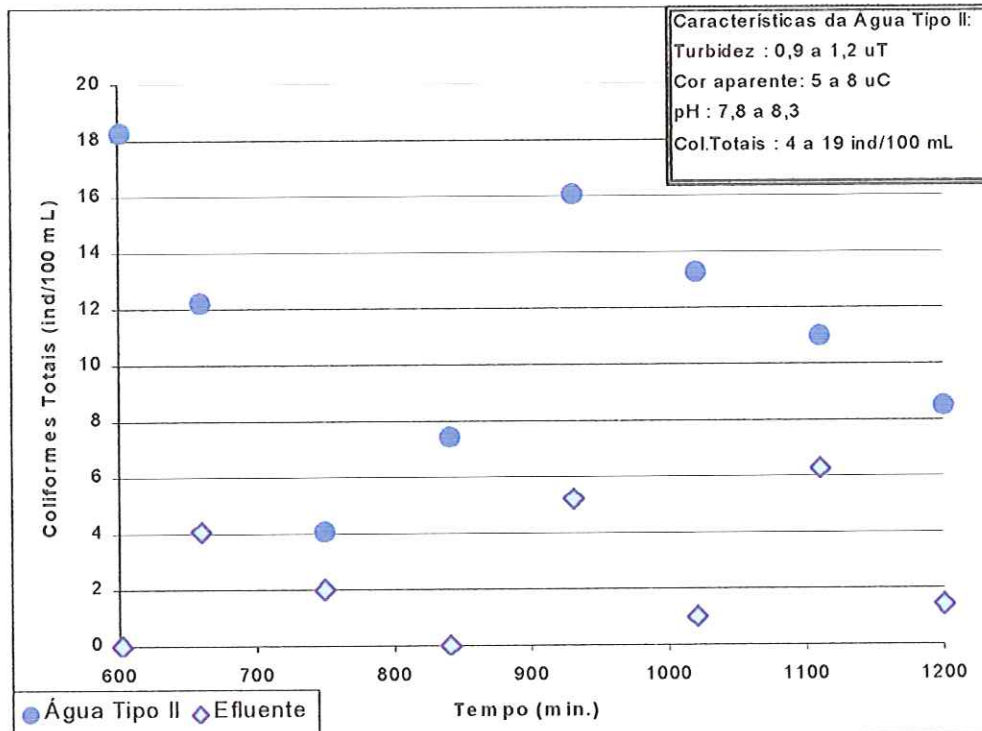


FIGURA B38 – Variação do NMP de Coliformes Totais/100 mL da água tipo II e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 11. Temp.: $25 \pm 1^\circ \text{C}$

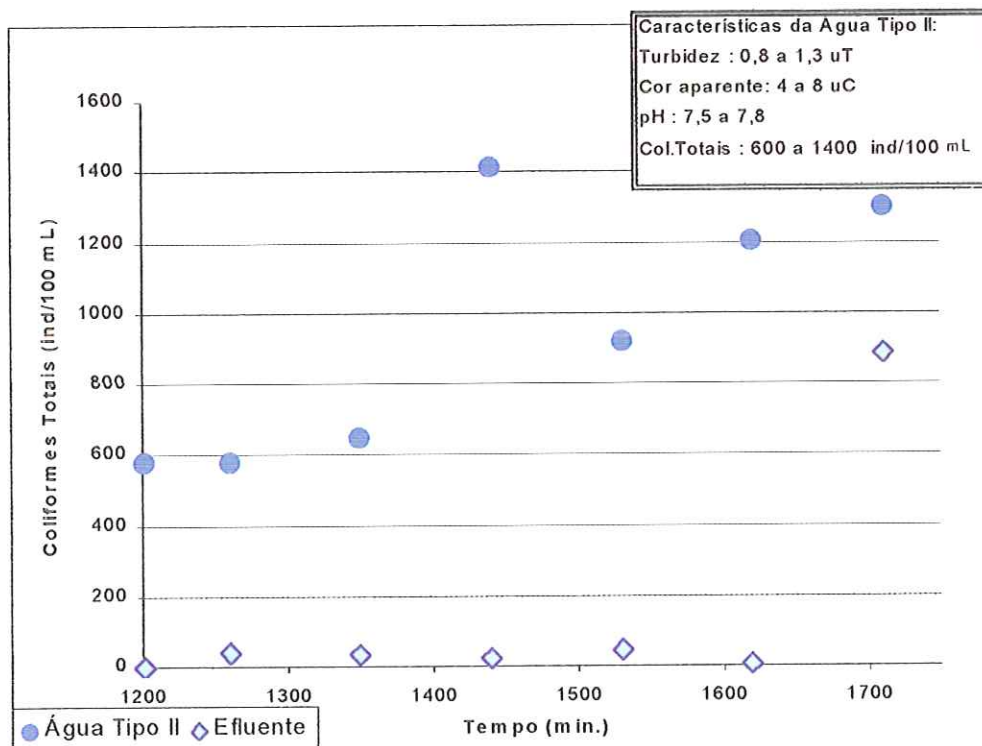


FIGURA B39 – Variação do NMP de Coliformes Totais/100 mL da água tipo II e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 12. Temp.: $25 \pm 1^\circ \text{C}$

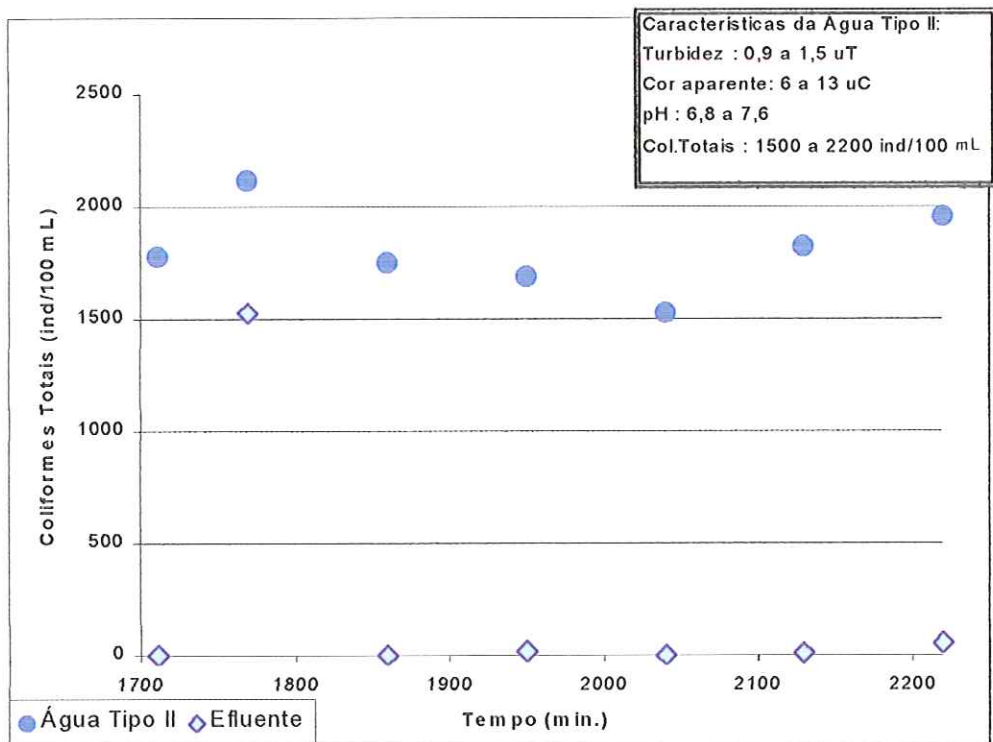


FIGURA B40 – Variação do NMP de Coliformes Totais/100 mL da água tipo II e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 13. Temp.: $25 \pm 1^\circ \text{C}$

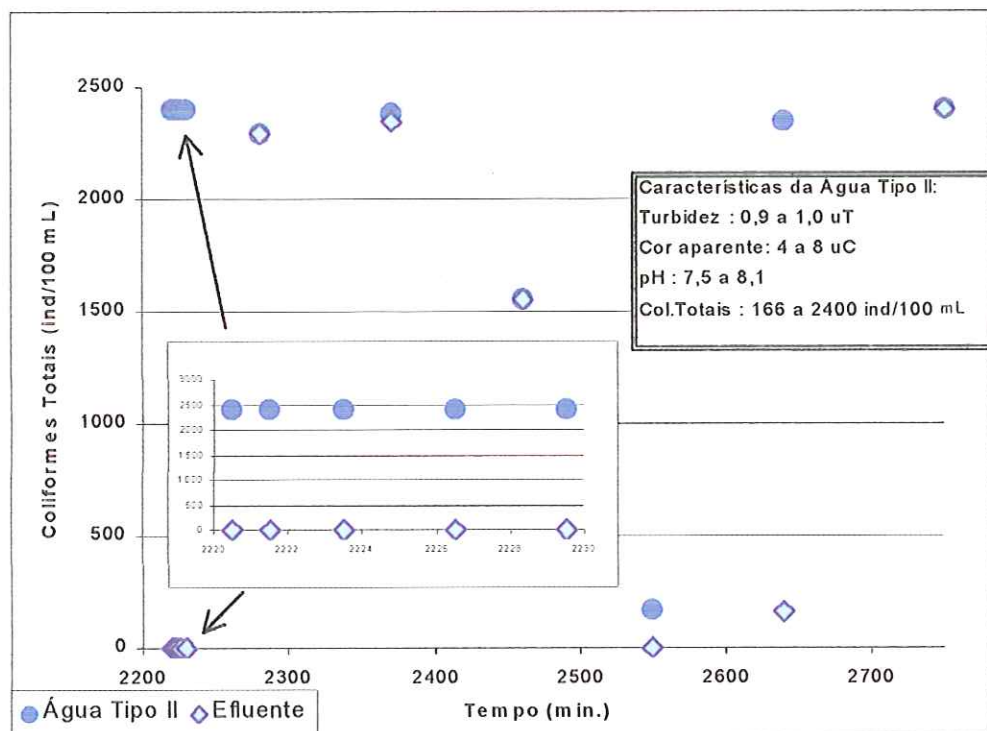


FIGURA B41 – Variação do NMP de Coliformes Totais/100 mL da água tipo II e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 14. Temp.: $25 \pm 1^\circ \text{C}$

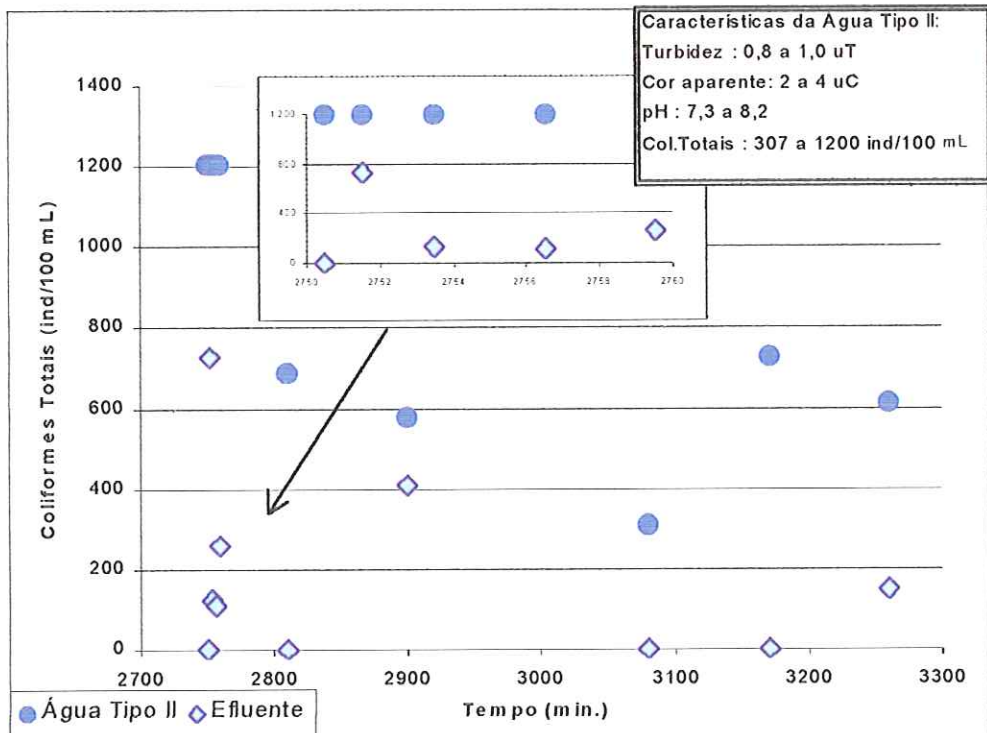


FIGURA B42 – Variação do NMP de Coliformes Totais/100 mL da água tipo II e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 15. Temp.: 25 ± 1° C

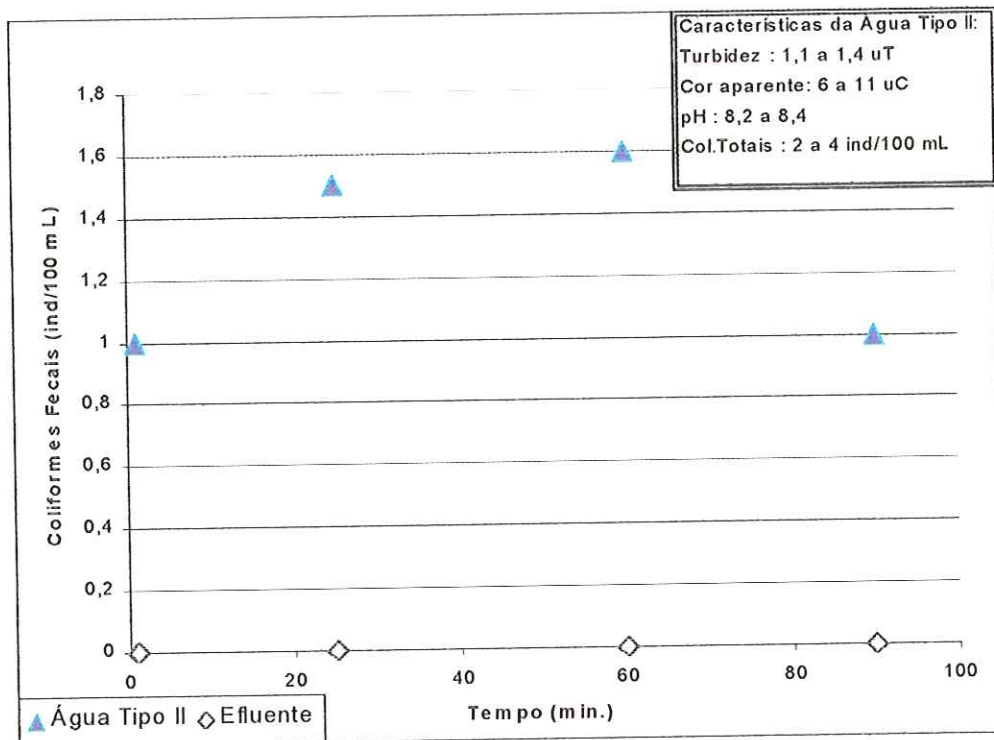


FIGURA B43 – Variação do NMP de Coliformes Fecais/100 mL da água tipo II e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 9. Temp.: 25 ± 1° C

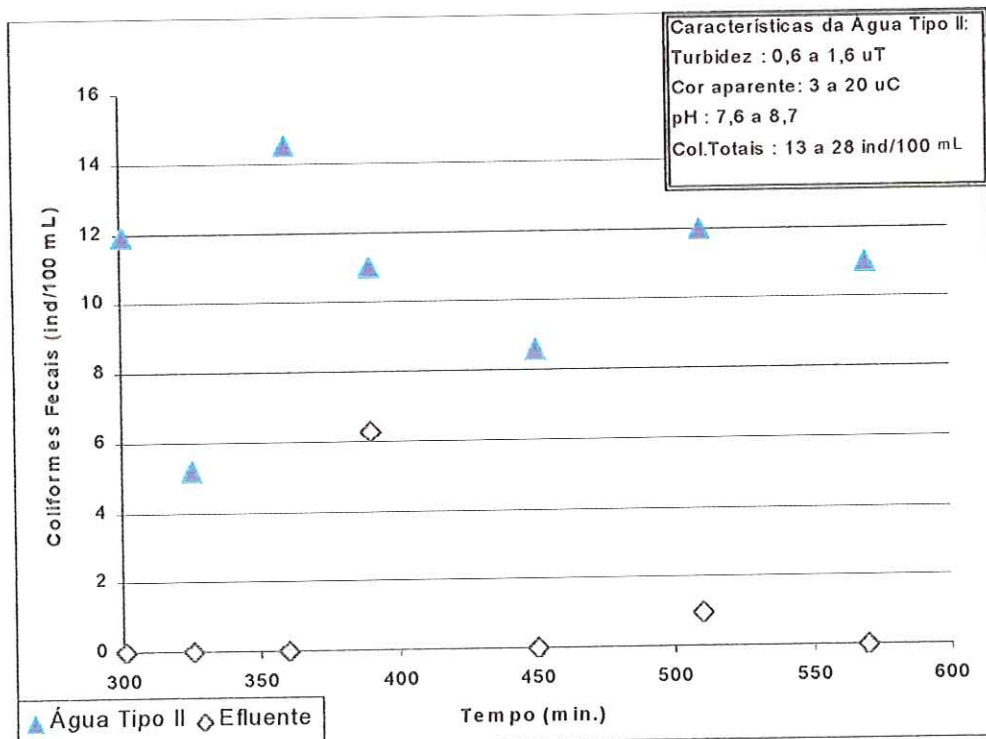


FIGURA B44 – Variação do NMP de Coliformes Fecais/100 mL da água tipo II e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 10. Temp.: 25 ± 1° C

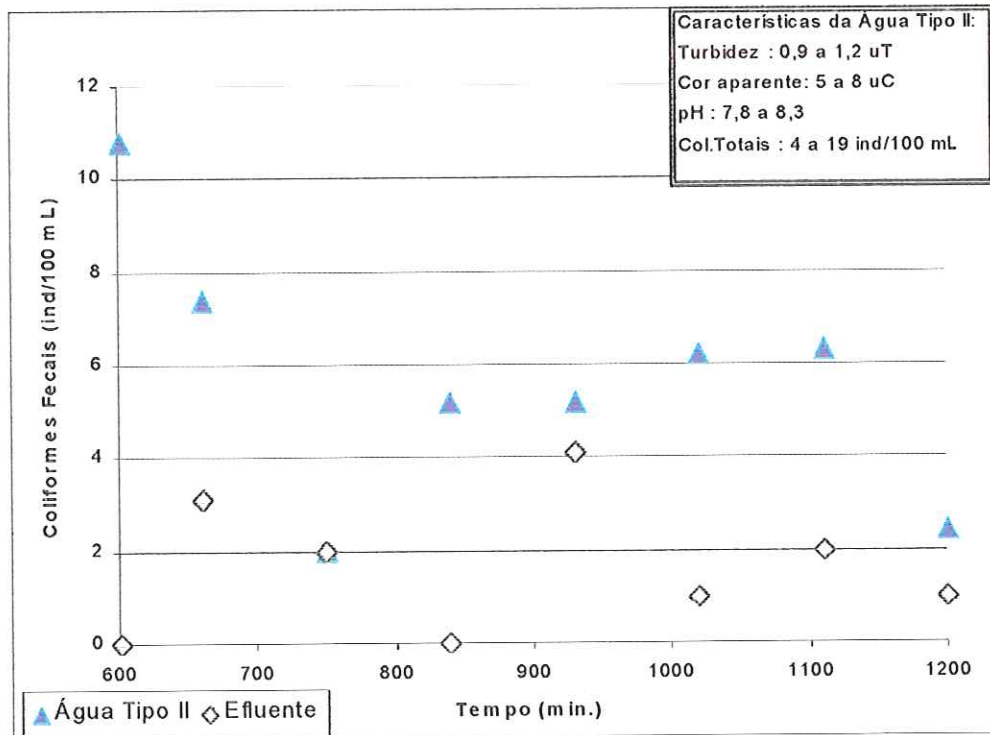


FIGURA B45 – Variação do NMP de Coliformes Fecais/100 mL da água tipo II e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 11. Temp.: $25 \pm 1^\circ \text{C}$

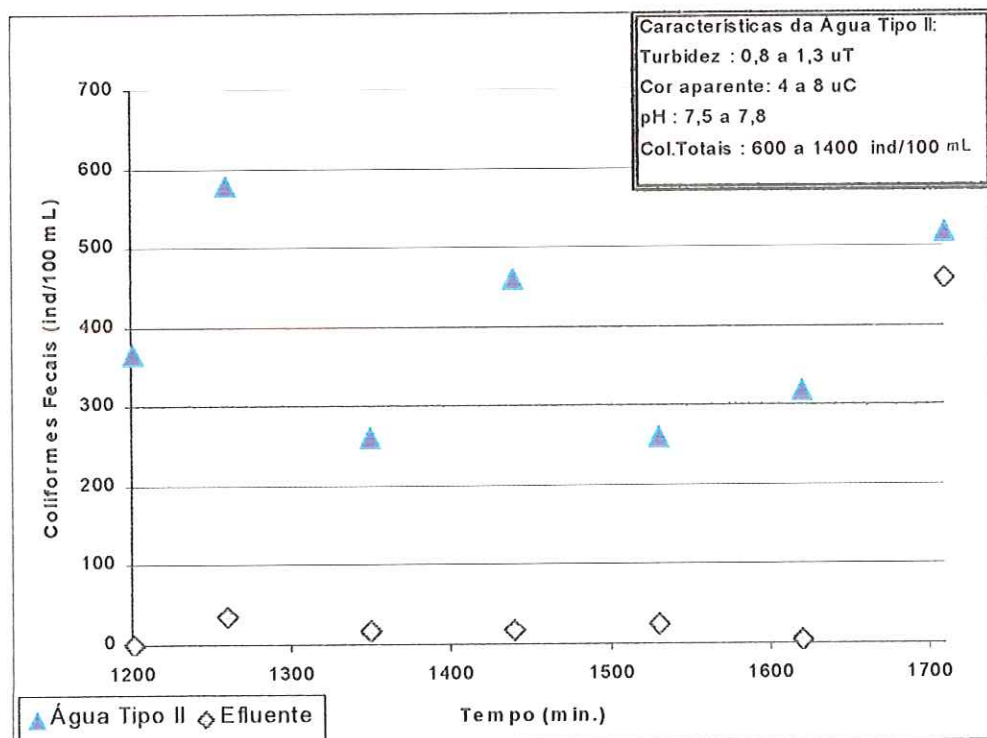


FIGURA B46 – Variação do NMP de Coliformes Fecais/100 mL da água tipo II e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 12. Temp.: $25 \pm 1^\circ \text{C}$

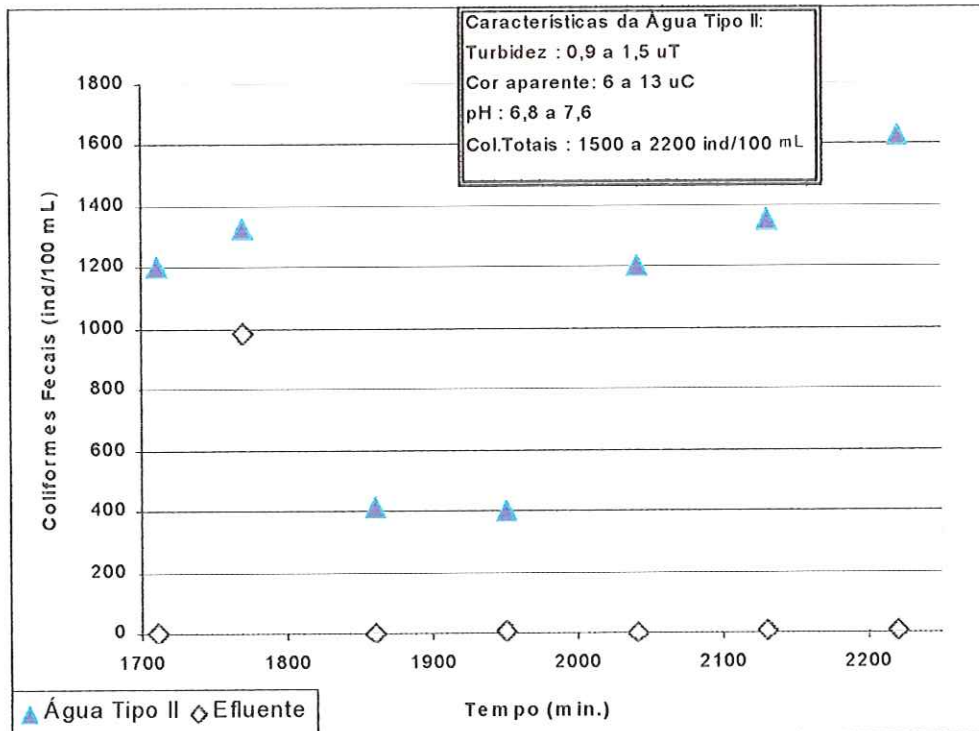


FIGURA B47 – Variação do NMP de Coliformes Fecais/100 mL da água tipo II e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 13. Temp.: 25 ± 1° C

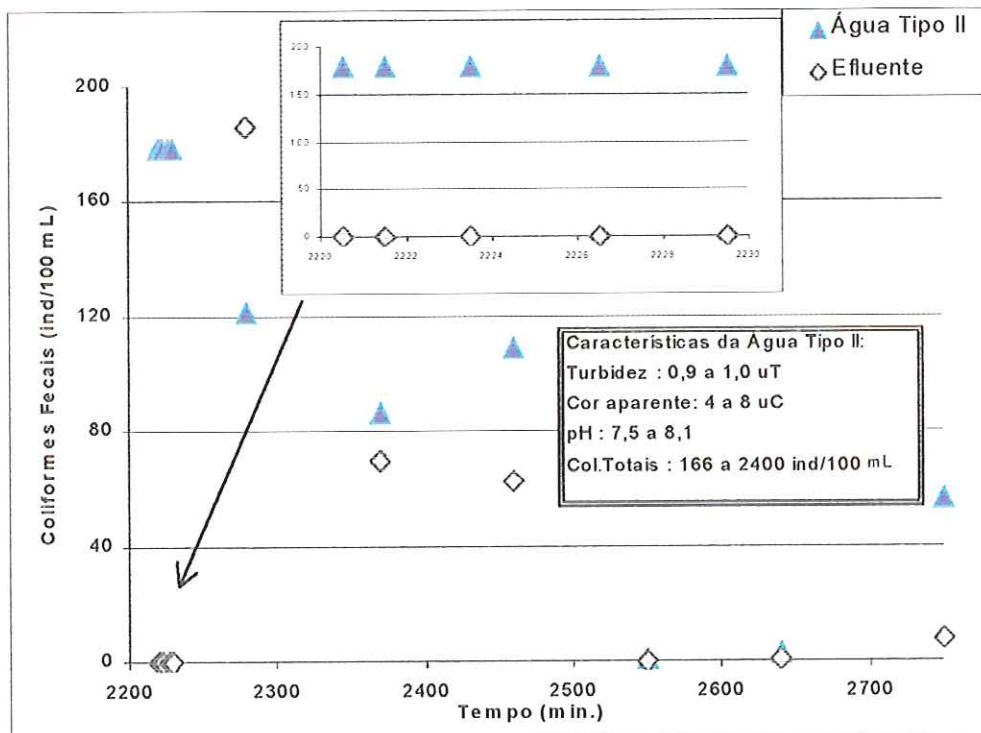


FIGURA B48 – Variação do NMP de Coliformes Fecais/100 mL da água tipo II e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 14. Temp.: 25 ± 1° C

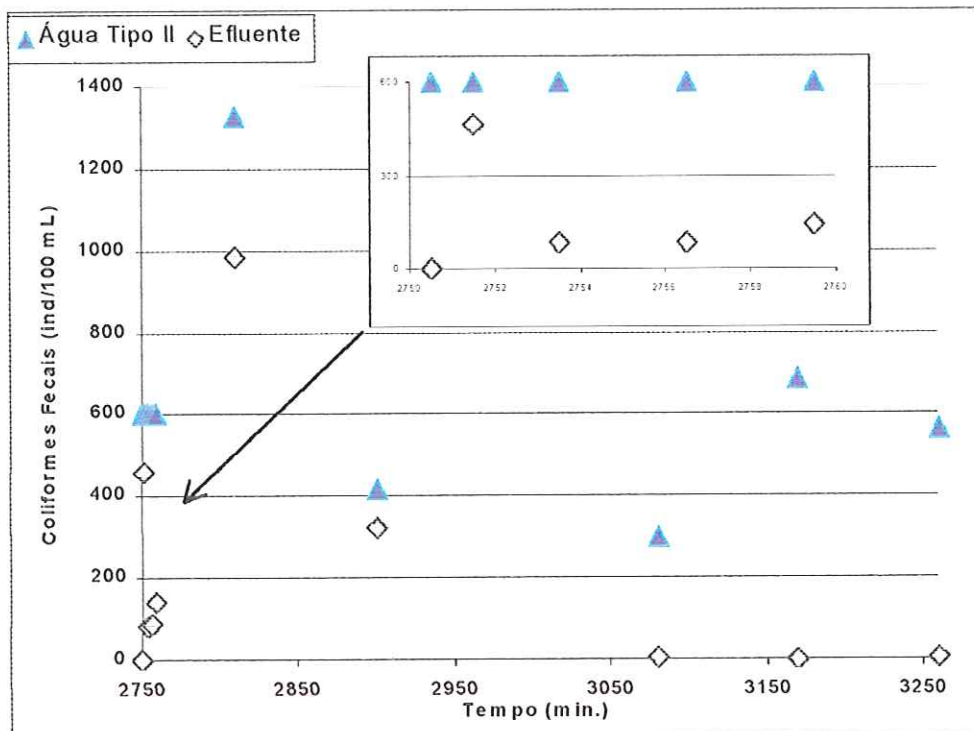


FIGURA B49 – Variação do NMP de Coliformes Fecais/100 mL da água tipo II e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 15. Temp.: $25 \pm 1^\circ \text{C}$

ANEXO C

Resultados dos ensaios com a água tipo III

Tabela C1 - Resultados dos ensaios 16 e 17, realizados com a água tipo III

Ensaio 16 e 17 - Tipo Partida

Dia 25/11/99

Características do Filtro Piloto:

d(mm) = 92

início 16: 09:10

início 17: 14:10

A(m²) = 0,00665

término 16: 11:10

término 17: 16:10

H(m) = 0,24

Tempo (min.)	Turbidez (uT)		Cor Aparente (uC)		Abs. λ = 254 nm		COT (mg/L)		Vazão (L/h)	Taxa (m ³ /m ² d)	Vol. Parcial (L)
	A. Tipo III	Efluente	A. Tipo III	Efluente	A. Tipo III	Efluente	A. Tipo III	Efluente			
0,5	1,13	1,41	3	8	0,005	0,009	0,598	0,808	60,50	218,45	
1,5	1,13	1,01	3	7	0,005	0,011	0,598	0,528	60,50	218,45	1,01
3,5	1,13	0,78	3	6	0,005	0,009	0,598	0,841	60,50	218,45	2,02
6,5	1,13	0,7	3	6	0,005	0,006	0,598	0,522	60,50	218,45	3,03
9,5	1,13	0,75	3	6	0,005	0,007	0,598	0,374	60,50	218,45	3,03
60	1,05	0,79	4	3	0,006	0,007	0,453	0,597	60,14	217,13	50,62
120	1,17	0,73	3	3	0,011	0,008	0,385	0,364	60,14	217,13	60,14

Tempo (min.)	Turbidez (uT)		Cor Aparente (uC)		Abs. λ = 254 nm		COT (mg/L)		Vazão (L/h)	Taxa (m ³ /m ² d)	Vol. Parcial (L)
	A. Tipo III	Efluente	A. Tipo III	Efluente	A. Tipo III	Efluente	A. Tipo III	Efluente			
120,5	1,05	0,55	4	3	0,010	0,008	0,351	0,355	59,08	213,32	
121,5	1,05	0,88	4	4	0,010	0,013	0,351	0,305	59,08	213,32	0,98
123,5	1,05	0,9	4	4	0,010	0,008	0,351	0,291	59,08	213,32	1,97
126,5	1,05	0,9	4	5	0,010	0,016	0,351	0,245	59,08	213,32	2,95
129,5	1,05	1,05	4	5	0,010	0,015	0,351	0,284	59,08	213,32	2,95
180	1,10	1,01	4	4	0,013	0,014	0,334	0,342	59,42	214,52	50,01
240	1,10	0,75	4	4	0,013	0,013	0,383	0,237	54,63	197,23	54,63

Vol. Total filtrado = Somatória dos volumes determinados entre cada análise.

Vol Total filtrado no ensaio 16 e 17 = **233,33 litros**

Taxa Volumétrica Total = VfiltradoTotal/Vcarvão

onde Vcarvão = 0,877 litros (porosidade = 0,45)

Taxa Volumétrica Total = **265,92 Lfiltro/Lcarvão**

Tabela C2 - Continuação dos resultados dos ensaios 16 e 17, realizados com a água tipo III

Ensaio 16 e 17 - Tipo Partida - Continuação

Dia 25/11/99

início 16: 09:10

início 17: 14:10

término 16: 11:10

término 17: 16:10

Tempo (min.)	pH		Conc. de Prata (mg/L)		Nitrato (mg/L)		Coliformes Totais (ind/100ml)		Coliformes Fecais (ind/100ml)	
	A. Tipo III	Efluente	A. Tipo III	Efluente	A. Tipo III	Efluente	A. Tipo III	Efluente	A. Tipo III	Efluente
0,5	8,40	7,75	-	-	0,0330	0,0000	93,2	23,3	31,7	5,2
1,5	8,40	7,73	-	-	0,0330	0,0000	93,2	7,4	31,7	3
3,5	8,40	7,75	-	-	0,0330	0,0000	93,2	1	31,7	1
6,5	8,40	7,83	-	-	0,0330	0,0000	93,2	1	31,7	1
9,5	8,40	7,89	-	-	0,0330	0,0000	93,2	0	31,7	0
60	8,10	8,22	-	0,029	0,0367	0,0000	131,3	52,9	33,2	9,7
120	8,18	8,25	-	0,005	0,0339	0,0000	35,9	1	8,5	0

Tempo (min.)	pH		Conc. de Prata (mg/L)		Nitrato (mg/L)		Coliformes Totais (ind/100ml)		Coliformes Fecais (ind/100ml)	
	A. Tipo III	Efluente	A. Tipo III	Efluente	A. Tipo III	Efluente	A. Tipo III	Efluente	A. Tipo III	Efluente
120,5	8,30	8,29	-	0,010	0,0423	0,0000	22,8	0	0	0
121,5	8,30	8,20	-	0,014	0,0423	0,0000	22,8	0	0	0
123,5	8,30	8,12	-	0,018	0,0423	0,0000	22,8	0	0	0
126,5	8,30	8,00	-	0,013	0,0423	0,0000	22,8	0	0	0
129,5	8,30	8,04	-	0,016	0,0423	0,0395	22,8	0	0	0
180	8,14	8,10	-	0,027	0,0297	0,0000	24,3	17,3	1	3,1
240	8,12	8,12	-	0,014	0,0008	0,0000	9,8	5	0	0

Tabela C3 - Resultados dos ensaios 18 e 19, realizados com a água tipo III

Ensaio 18 e 19 - Tipo Partida

Dia 26/11/99

Características do Filtro Piloto:

d(mm) = 92

início 18: 08:23

início 19: 13:21

A(m²) = 0,00665

término 18: 10:23

término 19: 13:21

H(m) = 0,24

Tempo (min.)	Turbidez (uT)		Cor Aparente (uC)		Abs. λ = 254 nm		COT (mg/L)		Vazão (L/h)	Taxa (m ³ /m ² d)	Vol. Parcial (L)
	A Tipo III	Efluente	A Tipo III	Efluente	A Tipo III	Efluente	A Tipo III	Efluente			
240,5	0,91	0,21	4	2	0,026	0,023	0,385	0,457	62,40	225,30	
241,5	0,91	0,92	4	2	0,026	0,022	0,385	0,799	62,40	225,30	1,04
243,5	0,91	0,78	4	3	0,026	0,024	0,385	0,308	62,40	225,30	2,08
246,5	0,91	0,74	4	3	0,026	0,024	0,385	0,59	62,40	225,30	3,12
249,5	0,91	0,67	4	3	0,026	0,025	0,385	0,311	62,40	225,30	3,12
300	0,93	0,67	3	3	0,025	0,026	0,331	0,324	58,54	211,34	49,27
360	0,91	0,67	5	4	0,024	0,027	1,598	1,300	61,35	221,50	61,35

Tempo (min.)	Turbidez (uT)		Cor Aparente (uC)		Abs. λ = 254 nm		COT (mg/L)		Vazão (L/h)	Taxa (m ³ /m ² d)	Vol. Parcial (L)
	A Tipo III	Efluente	A Tipo III	Efluente	A Tipo III	Efluente	A Tipo III	Efluente			
360,5	0,9	0,41	6	1	0,021	0,017	0,675	0,500	61,14	220,75	
361,5	0,9	0,66	6	3	0,021	0,018	0,675	0,288	61,14	220,75	1,02
363,5	0,9	0,69	6	3	0,021	0,016	0,675	1,320	61,14	220,75	2,04
366,5	0,9	0,61	6	4	0,021	0,020	0,675	0,282	61,14	220,75	3,06
369,5	0,90	0,66	6	4	0,021	0,012	0,675	0,248	61,14	220,75	3,06
420	0,86	0,70	5	4	0,026	0,023	0,299	0,805	56,60	204,36	47,64
480	0,98	0,79	7	5	0,030	0,024	0,311	0,212	58,52	211,27	58,52

Vol. Total filtrado = Somatória dos volumes determinados entre cada análise.

Vol Total filtrado no ensaio 18 e 19 = **235,31** litros

Taxa Volumétrica Total = VfiltradoTotal/Vcarvão

onde Vcarvão = 0,877 litros (porosidade = 0,45)

Taxa Volumétrica Total = **534,09** Lfiltro/Lcarvão

Tabela C4 - Continuação dos resultados dos ensaios 18 e 19, realizados com a água tipo III

Ensaio 18 e 19 - Tipo Partida - Continuação

Dia 26/11/99

início 18: 08:23

início 19: 13:21

término 18: 10:23

término 19: 13:21

Tempo (min.)	pH		Conc. de Prata (mg/L)		Nitrato (mg/L)		Coliformes Totais (ind/100ml)		Coliformes Fecais (ind/100ml)	
	A Tipo III	Efluente	A Tipo III	Efluente	A Tipo III	Efluente	A Tipo III	Efluente	A Tipo III	Efluente
240,5	7,84	7,8	-	-	-	-	488,4	0	71,2	0
241,5	7,84	7,76	-	0,003	-	-	488,4	20,1	71,2	3,1
243,5	7,84	7,52	-	0,006	-	-	488,4	10,9	71,2	1
246,5	7,84	7,58	-	0,009	-	-	488,4	23,3	71,2	3
249,5	7,84	7,61	-	-	-	-	488,4	24,6	71,2	3
300	8,04	7,80	-	0,018	0,0129	-	613,1	344,8	95,8	72,7
360	7,94	7,89	-	0,014	0,0167	-	816,4	356,8	90,6	74,3

Tempo (min.)	pH		Conc. de Prata (mg/L)		Nitrato (mg/L)		Coliformes Totais (ind/100ml)		Coliformes Fecais (ind/100ml)	
	A Tipo III	Efluente	A Tipo III	Efluente	A Tipo III	Efluente	A Tipo III	Efluente	A Tipo III	Efluente
360,5	7,99	8,18	-	0,021	-	-	365,4	0	112,3	0
361,5	7,99	7,79	-	0,025	-	-	365,4	2	112,3	1
363,5	7,99	7,93	-	0,024	-	-	365,4	2	112,3	1
366,5	7,99	7,95	-	0,030	-	-	365,4	7,4	112,3	0
369,5	7,99	7,95	-	0,014	-	-	365,4	17,5	112,3	3
420	7,96	7,92	-	0,022	0,0483	-	275,5	166,9	60,9	63,1
480	8,02	7,98	-	0,019	0,0446	0,0344	235,9	133,3	43,9	43,9

Tabela C5 - Resultados dos ensaios 20 e 21, realizados com a água tipo III

Ensaio 20 e 21 - Tipo Partida

Dia 30/11/99 e 1/12/99

Características do Filtro Piloto:

d(mm) = 92

início 20: 13:55 início 21: 8:10

A(m²) = 0,00665

término 20: 15:55 término 21: 10:10

H(m) = 0,24

Tempo (min.)	Turbidez (uT)		Cor Aparente (uC)		Abs. λ = 254 nm		COT (mg/L)		Vazão (L/h)	Taxa (m ³ /m ² d)	Vol. Parcial (L)
	A Tipo III	Efluente	A Tipo III	Efluente	A Tipo III	Efluente	A Tipo III	Efluente			
480,5	1,70	0,36	3	2	0,014	0,016	0,749	0,619	57,51	207,63	
481,5	1,70	1,18	3	5	0,014	0,016	0,749	0,400	57,51	207,63	0,96
483,5	1,70	1,38	3	4	0,014	0,017	0,749	0,347	57,51	207,63	1,92
486,5	1,70	1,30	3	3	0,014	0,015	0,749	0,270	57,51	207,63	2,88
489,5	1,70	1,26	3	3	0,014	0,021	0,749	0,328	57,51	207,63	2,88
540	1,79	1,20	3	2	0,014	0,019	0,508	0,340	58,70	211,93	49,40
600	1,80	1,23	2	1	0,012	0,019	0,508	0,336	59,49	214,80	59,49

Tempo (min.)	Turbidez (uT)		Cor Aparente (uC)		Abs. λ = 254 nm		COT (mg/L)		Vazão (L/h)	Taxa (m ³ /m ² d)	Vol. Parcial (L)
	A Tipo III	Efluente	A Tipo III	Efluente	A Tipo III	Efluente	A Tipo III	Efluente			
600,5	1,70	0,34	2	-	0,019	0,015	0,514	0,310	61,99	223,83	
601,5	1,70	1,20	2	3	0,019	0,016	0,514	0,354	61,99	223,83	1,03
603,5	1,70	1,40	2	4	0,019	0,015	0,514	0,283	61,99	223,83	2,07
606,5	1,70	1,36	2	3	0,019	0,015	0,514	0,296	61,99	223,83	3,10
609,5	1,70	1,58	2	4	0,019	0,016	0,514	0,306	61,99	223,83	3,10
660	1,89	1,40	2	3	0,019	0,017	0,423	0,212	58,38	210,76	49,13
720	1,61	1,42	2	4	0,012	0,019	0,286	0,273	57,60	207,96	57,60

Vol. Total filtrado = Somatória dos volumes determinados entre cada análise.

Vol Total filtrado no ensaio 20 e 21 = **233,56 litros**

Taxa Volumétrica Total = VfiltradoTotal/Vcarvão

onde Vcarvão = 0,877 litros (porosidade = 0,45)

Taxa Volumétrica Total = **800,26 Lfiltrado/Lcarvão**

Tabela C6 - Continuação dos resultados dos ensaios 20 e 21, realizados com a água tipo III

Ensaio 20 e 21 - Tipo Partida - Continuação

Dia 30/11/99 e 1/12/99

início 20: 13:55

início 21: 8:10

término 20: 15:55

término 21: 10:10

Tempo (min.)	pH		Conc. de Prata (mg/L)		Nitrato (mg/L)		Coliformes Totais (ind/100ml)		Coliformes Fecais (ind/100ml)	
	A Tipo III	Efluente	A Tipo III	Efluente	A Tipo III	Efluente	A Tipo III	Efluente	A Tipo III	Efluente
480,5	6,98	7,34	-	-	0,0372	-	214,3	0	49,6	0
481,5	6,98	7,22	-	-	0,0372	0,0227	214,3	108,6	49,6	13,5
483,5	6,98	7,15	-	-	0,0372	0,0176	214,3	166,4	49,6	23,5
486,5	6,98	7,16	-	-	0,0372	0,0167	214,3	85,5	49,6	21,8
489,5	6,98	7,25	-	0,005	0,0372	0,0134	214,3	122,3	49,6	41,9
540	7,14	7,10	-	0,020	0,0167	0,0237	129,1	38,8	24,9	16,1
600	7,34	7,19	-	0,044	0,0805	0,0348	90,6	35,9	18,9	14,3

Tempo (min.)	pH		Conc. de Prata (mg/L)		Nitrato (mg/L)		Coliformes Totais (ind/100ml)		Coliformes Fecais (ind/100ml)	
	A Tipo III	Efluente	A Tipo III	Efluente	A Tipo III	Efluente	A Tipo III	Efluente	A Tipo III	Efluente
600,5	7,29	7,22	-	-	0,0460	-	613,1	11	47,9	2
601,5	7,29	7,09	-	-	0,0460	0,0111	613,1	209,8	47,9	31,4
603,5	7,29	7,07	-	0,018	0,0460	0,0167	613,1	156,5	47,9	36,4
606,5	7,29	7,10	-	0,020	0,0460	0,0064	613,1	290,9	47,9	41,6
609,5	7,29	7,10	-	0,009	0,0460	0,0092	613,1	187,2	47,9	36,4
660	7,40	7,19	-	0,012	0,0469	0,1850	325,5	224,7	43,1	43,5
720	7,40	7,22	-	0,018	0,0553	0,0087	290,9	46	154	16

Tabela C7 - Resultados dos ensaios 22 e 23, realizados com a água tipo III

Ensaio 22 e 23 - Tipo Partida

Dia 2/12/99 e 3/12/99

Características do Filtro Piloto:

d(mm) = 92

início 22: 14:00

início 23: 8:55

A(m²) = 0,00665

término 22: 16:00

término 23: 10:55

H(m) = 0,24

Tempo (min.)	Turbidez (uT)		Cor Aparente (uC)		Abs. λ = 254 nm		COT (mg/L)		Vazão (L/h)	Taxa (m ³ /m ² d)	Vol. Parcial (L)
	A Tipo III	Efluente	A Tipo III	Efluente	A Tipo III	Efluente	A Tipo III	Efluente			
720,5	1,85	0,40	2	1	0,012	0,010	0,690	0,355	59,02	213,07	
721,5	1,85	1,34	2	7	0,012	0,014	0,690	0,333	59,02	213,07	0,98
723,5	1,85	1,31	2	2	0,012	0,010	0,690	0,359	59,02	213,07	1,97
726,5	1,85	1,35	2	2	0,012	0,013	0,690	0,426	59,02	213,07	2,95
729,5	1,85	1,20	2	2	0,012	0,012	0,690	0,281	59,02	213,07	2,95
780	1,79	1,28	2	3	0,007	0,013	0,516	0,550	60,21	217,39	50,68
840	1,73	1,28	2	3	0,012	0,013	0,560	0,260	58,27	210,38	58,27

Tempo (min.)	Turbidez (uT)		Cor Aparente (uC)		Abs. λ = 254 nm		COT (mg/L)		Vazão (L/h)	Taxa (m ³ /m ² d)	Vol. Parcial (L)
	A Tipo III	Efluente	A Tipo III	Efluente	A Tipo III	Efluente	A Tipo III	Efluente			
840,5	1,4	0,32	3	-	0,013	0,005	0,828	0,439	59,41	214,48	
841,5	1,4	1,08	3	5	0,013	0,008	0,828	0,612	59,41	214,48	0,99
843,5	1,4	0,96	3	3	0,013	0,009	0,828	0,375	59,41	214,48	1,98
846,5	1,4	1,05	3	2	0,013	0,008	0,828	0,335	59,41	214,48	2,97
849,5	1,40	0,91	3	3	0,013	0,007	0,828	0,312	59,41	214,48	2,97
900	1,31	0,99	2	4	0,008	0,007	0,613	0,287	56,65	204,52	47,68
960	1,31	1,26	2	3	0,007	0,008	0,563	0,267	58,78	212,20	58,78

Vol. Total filtrado = Somatória dos volumes determinados entre cada análise.

Vol Total filtrado no ensaio 22 e 23 = **233,17 litros**

Taxa Volumétrica Total = VfiltradoTotal/Vcarvão

onde Vcarvão = 0,877 litros (porosidade = 0,45)

Taxa Volumétrica Total = **1065,99 Lfiltro/Lcarvão**

Tabela C8 - Continuação dos resultados dos ensaios 22 e 23, realizados com a água tipo III

Ensaio 22 e 23 - Tipo Partida - Continuação

Dia 2/12/99 e 3/12/99

início 22: 14:00

início 23: 8:55

término 22: 16:00

término 23: 10:55

Tempo (min.)	pH		Conc. de Prata (mg/L)		Nitrato (mg/L)		Coliformes Totais (ind/100ml)		Coliformes Fecais (ind/100ml)	
	A Tipo III	Efluente	A Tipo III	Efluente	A Tipo III	Efluente	A Tipo III	Efluente	A Tipo III	Efluente
720,5	7,27	7,10	-	0,022	0,0660	-	248,1	12,1	61,3	0
721,5	7,27	7,00	-	0,053	0,0660	0,1028	248,1	102,2	61,3	10,8
723,5	7,27	7,07	-	0,039	0,0660	0,0050	248,1	121,0	61,3	21,8
726,5	7,27	7,08	-	0,036	0,0660	0,0125	248,1	101,7	61,3	24,6
729,5	7,27	7,12	-	0,037	0,0660	0,0171	248,1	113,2	61,3	20,1
780	7,35	7,20	-	0,017	0,0935	0,0064	410,6	78,9	31,6	21,8
840	7,37	7,28	-	0,016	0,0646	0,0209	56,5	38,9	25,9	9,8

Tempo (min.)	pH		Conc. de Prata (mg/L)		Nitrato (mg/L)		Coliformes Totais (ind/100ml)		Coliformes Fecais (ind/100ml)	
	A Tipo III	Efluente	A Tipo III	Efluente	A Tipo III	Efluente	A Tipo III	Efluente	A Tipo III	Efluente
840,5	7,64	7,25	-	0,027	0,0982	-	488,4	0	29,1	0
841,5	7,64	7,26	-	0,043	0,0982	0,0241	488,4	201,3	29,1	28
843,5	7,64	7,26	-	0,034	0,0982	0,0274	488,4	204,6	29,1	31,3
846,5	7,64	7,14	-	0,019	0,0982	0,0134	488,4	275,5	29,1	39,9
849,5	7,64	7,28	-	0,032	0,0982	0,0139	488,4	353,5	29,1	25,9
900	7,70	7,59	-	0,020	0,0945	0,0129	46,4	57,9	1	6,3
960	7,84	7,62	-	0,029	0,0972	0,0167	51,2	12,2	1	3,1

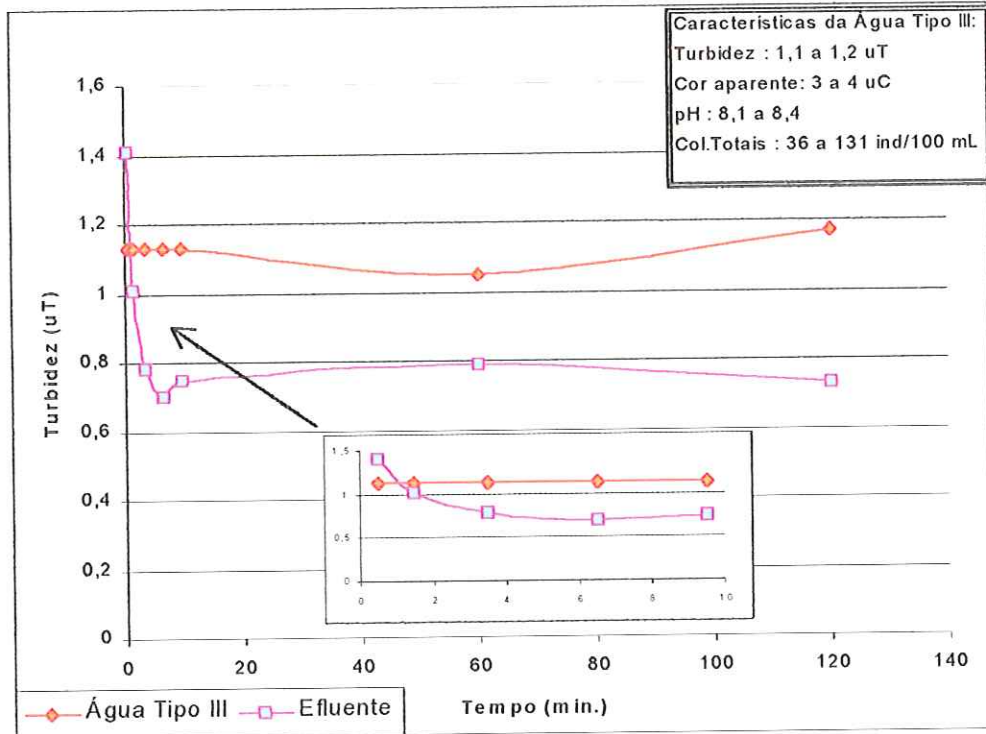


FIGURA C1 – Variação da Turbidez da água tipo III e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 16. Temp.: 25 ± 1° C

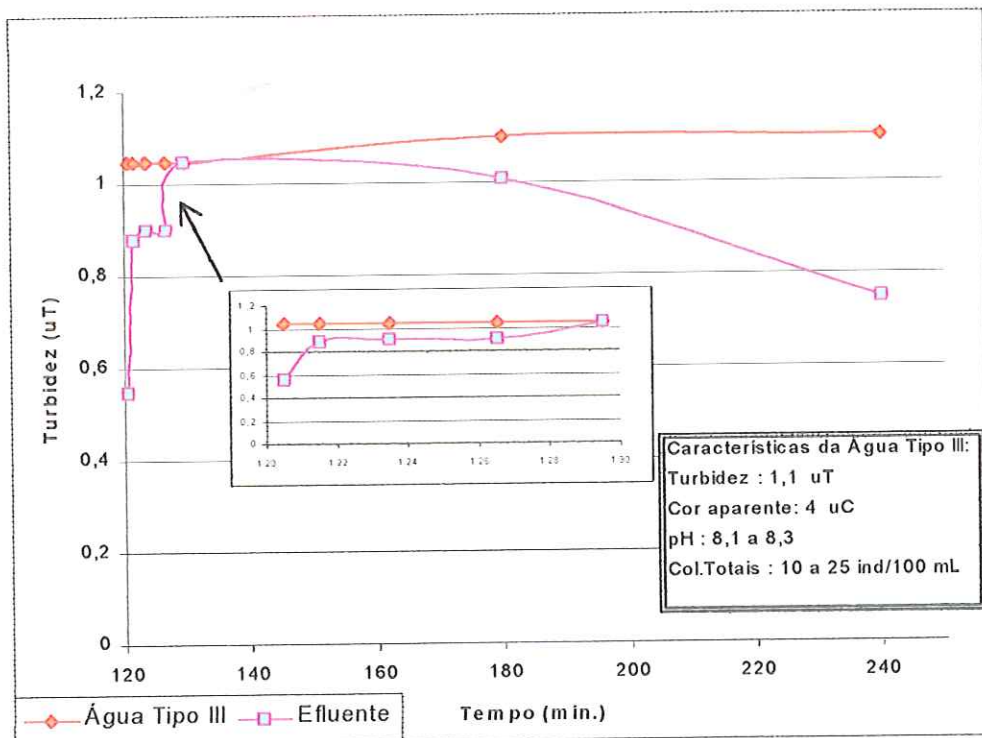


FIGURA C2 – Variação da Turbidez da água tipo III e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 17. Temp.: 25 ± 1° C

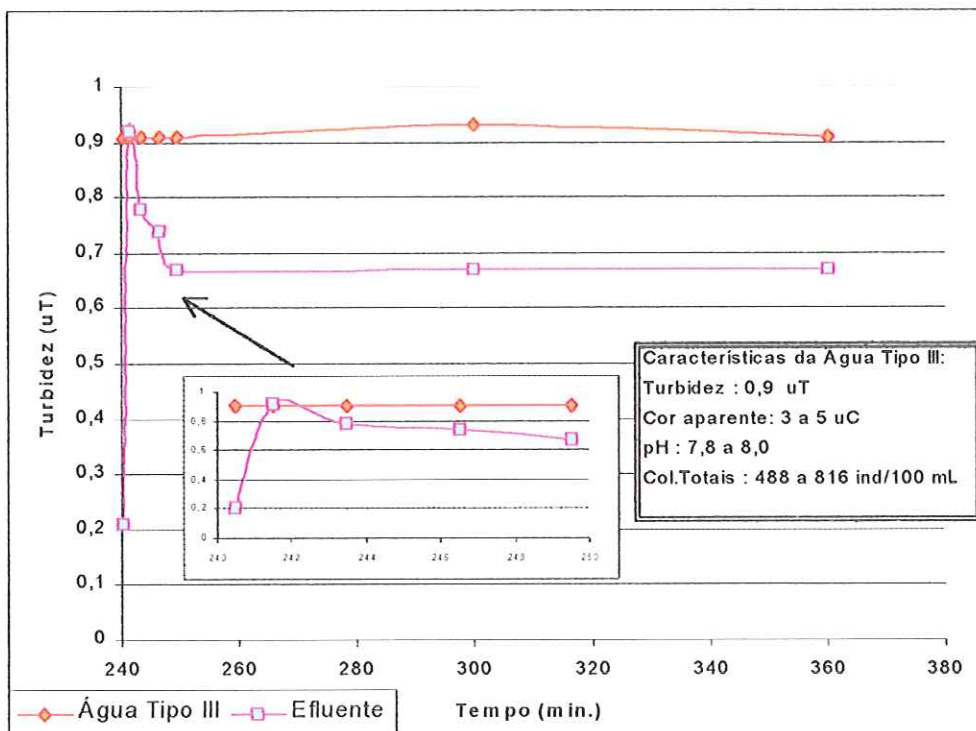


FIGURA C3 – Variação da Turbidez da água tipo III e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 18. Temp.: 25 ± 1° C

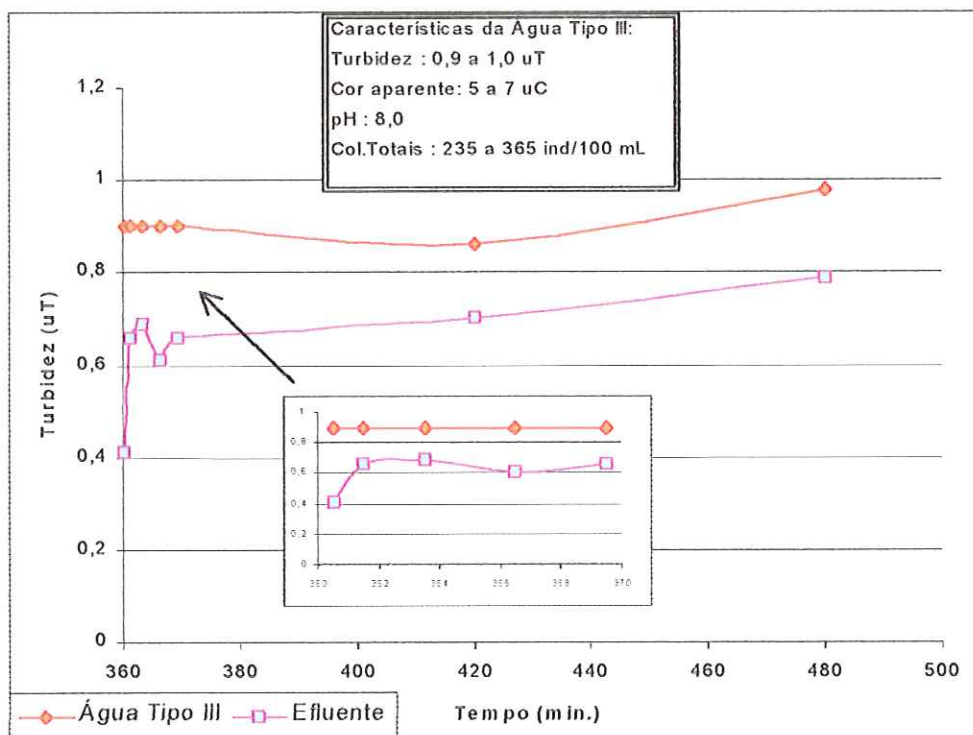


FIGURA C4 – Variação da Turbidez da água tipo III e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 19. Temp.: 25 ± 1° C

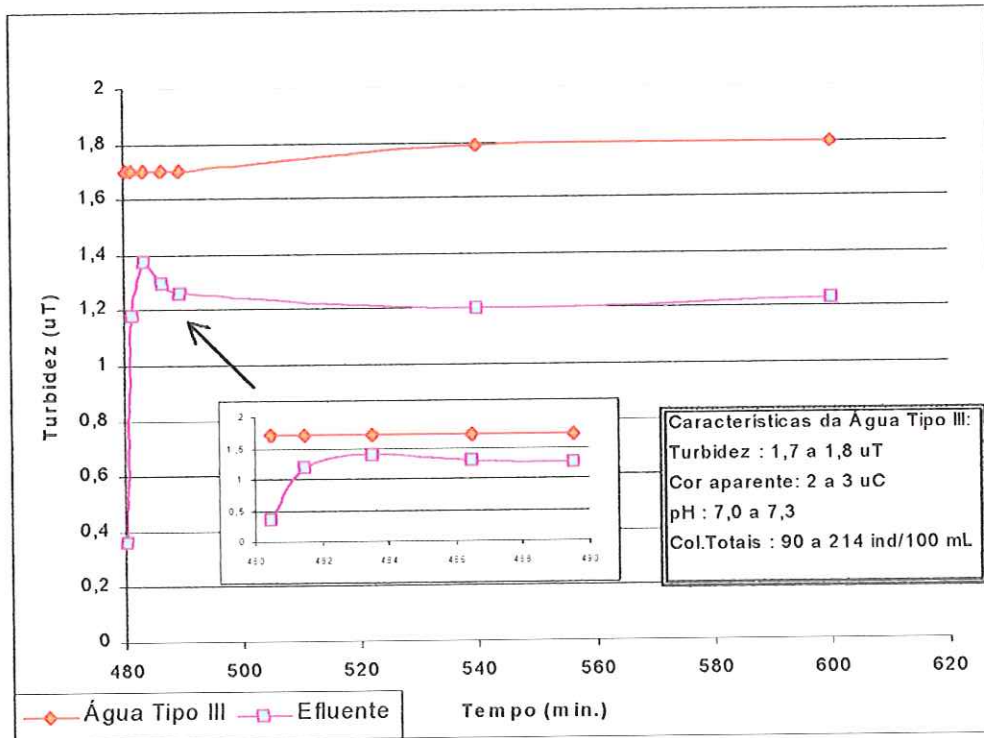


FIGURA C5 – Variação da Turbidez da água tipo III e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 20. Temp.: 25 ± 1° C

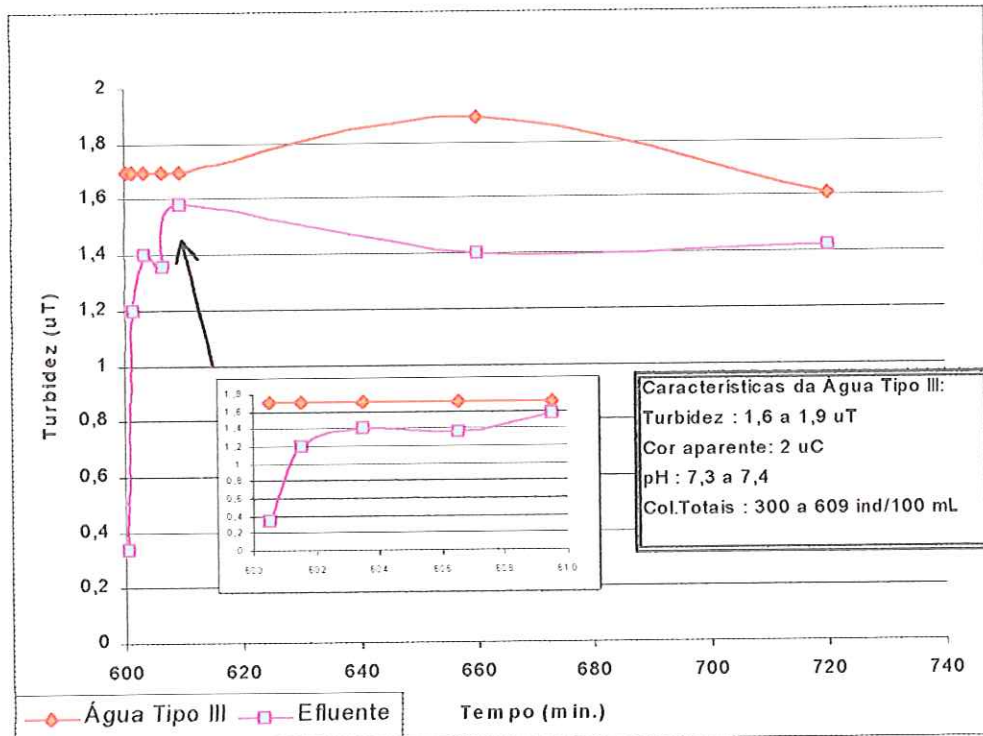


FIGURA C6 – Variação da Turbidez da água tipo III e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 21. Temp.: 25 ± 1° C

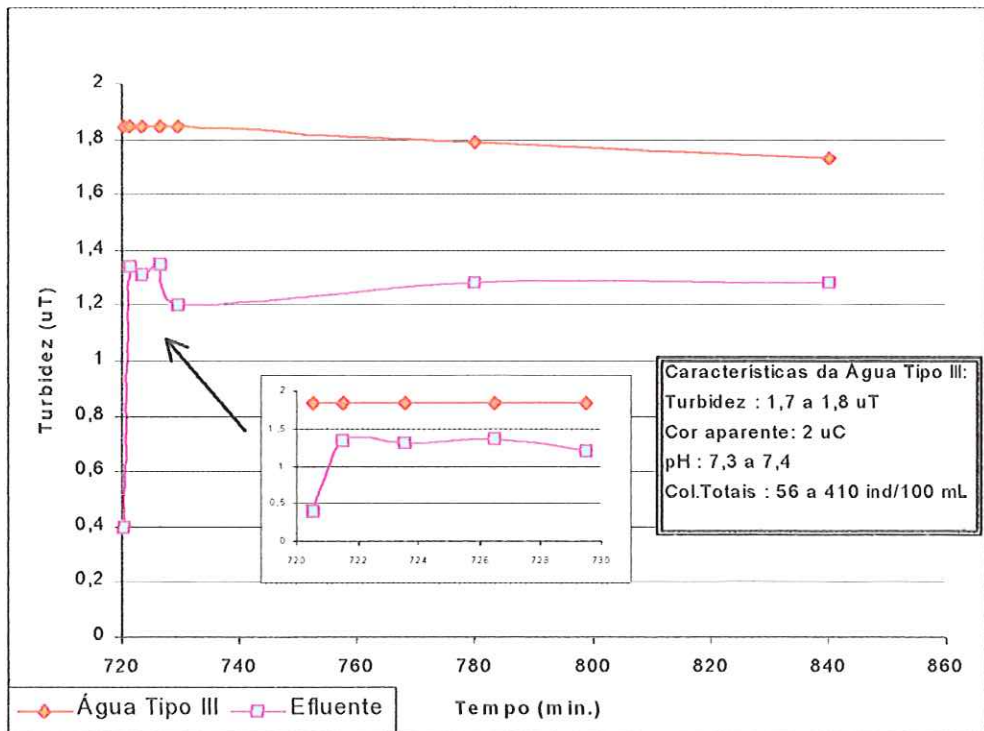


FIGURA C7 – Variação da Turbidez da água tipo III e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 22. Temp.: 25 ± 1° C

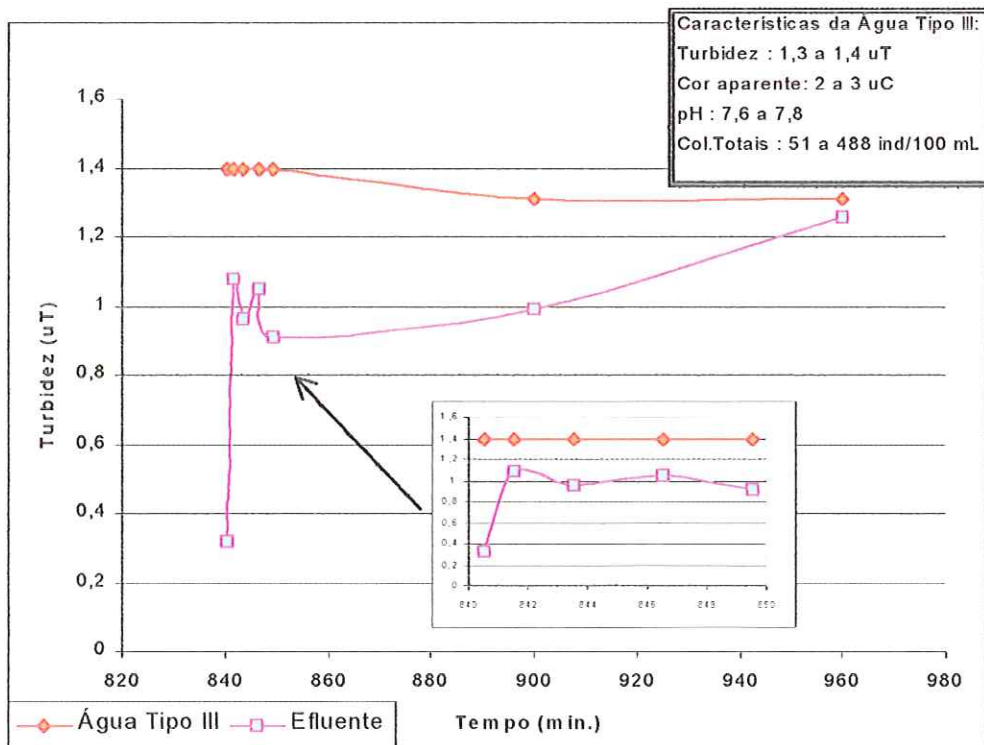


FIGURA C8 – Variação da Turbidez da água tipo III e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 23. Temp.: 25 ± 1° C

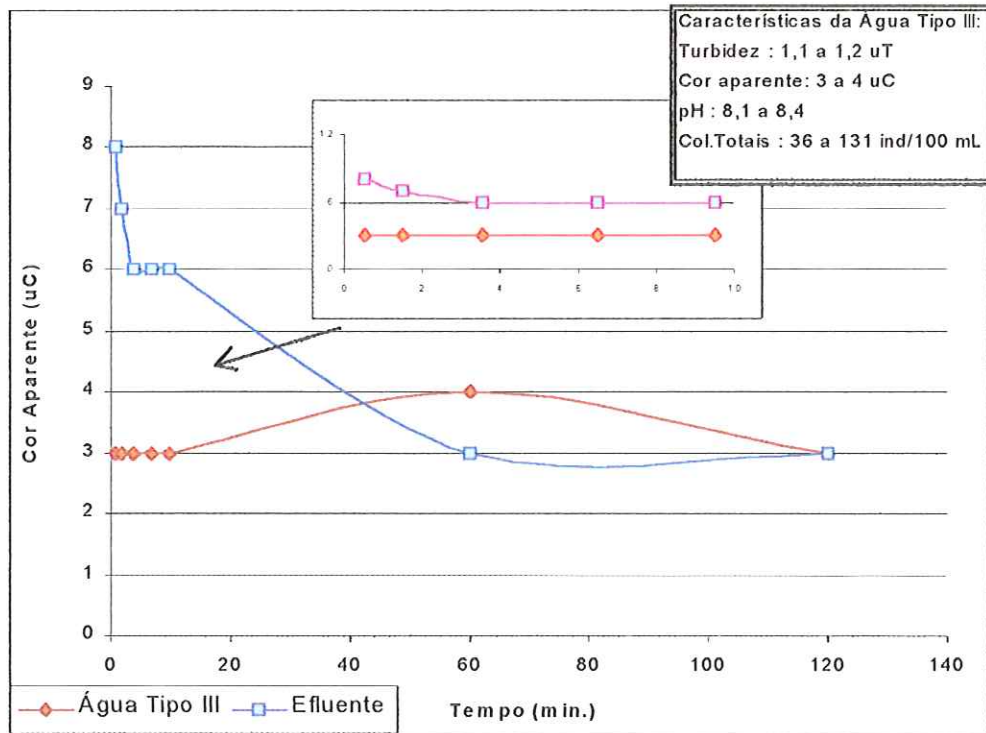


FIGURA C9 – Variação da Cor Aparente da água tipo III e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 16. Temp.: 25 ± 1° C

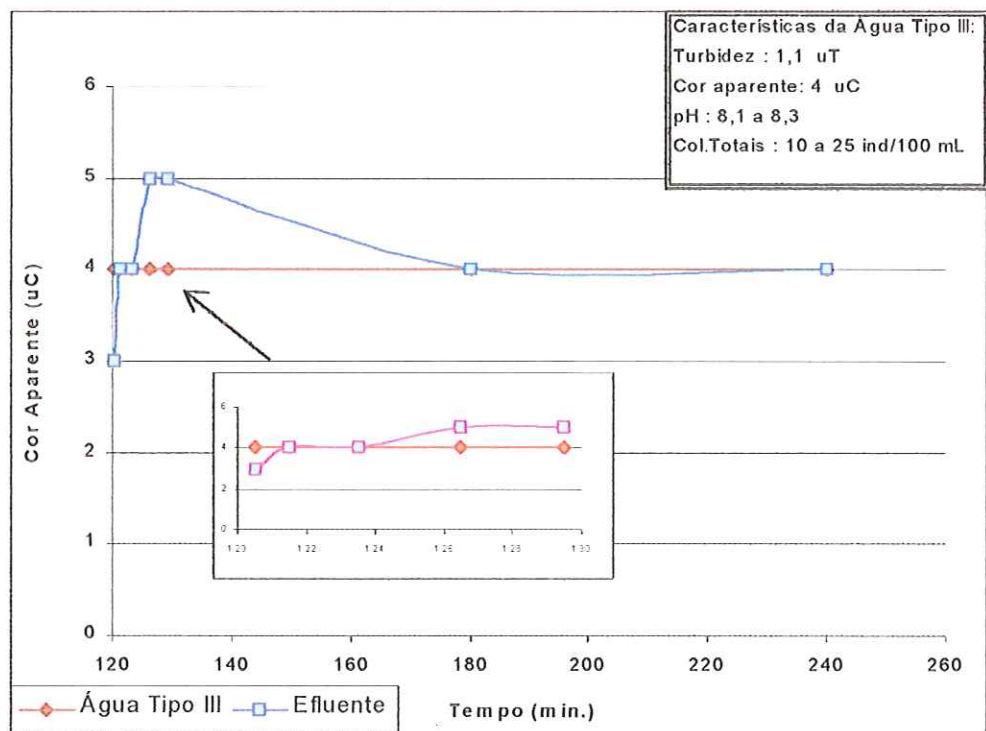


FIGURA C10 – Variação da Cor Aparente da água tipo III e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 17. Temp.: 25 ± 1° C

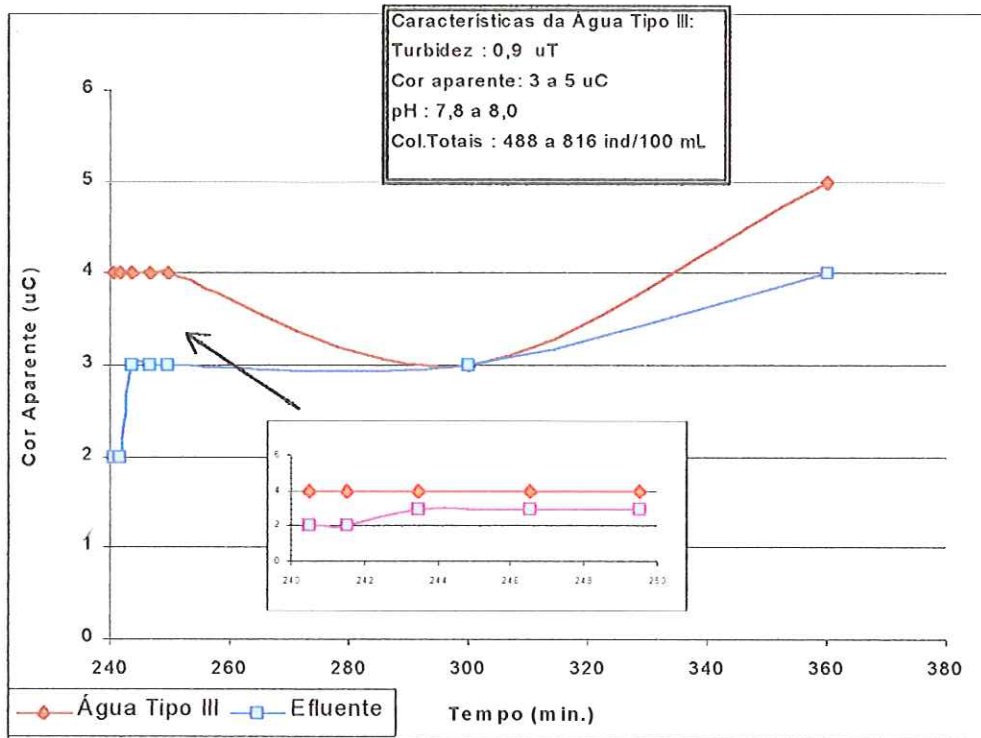


FIGURA C11 – Variação da Cor Aparente da água tipo III e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 18. Temp.: 25 ± 1° C

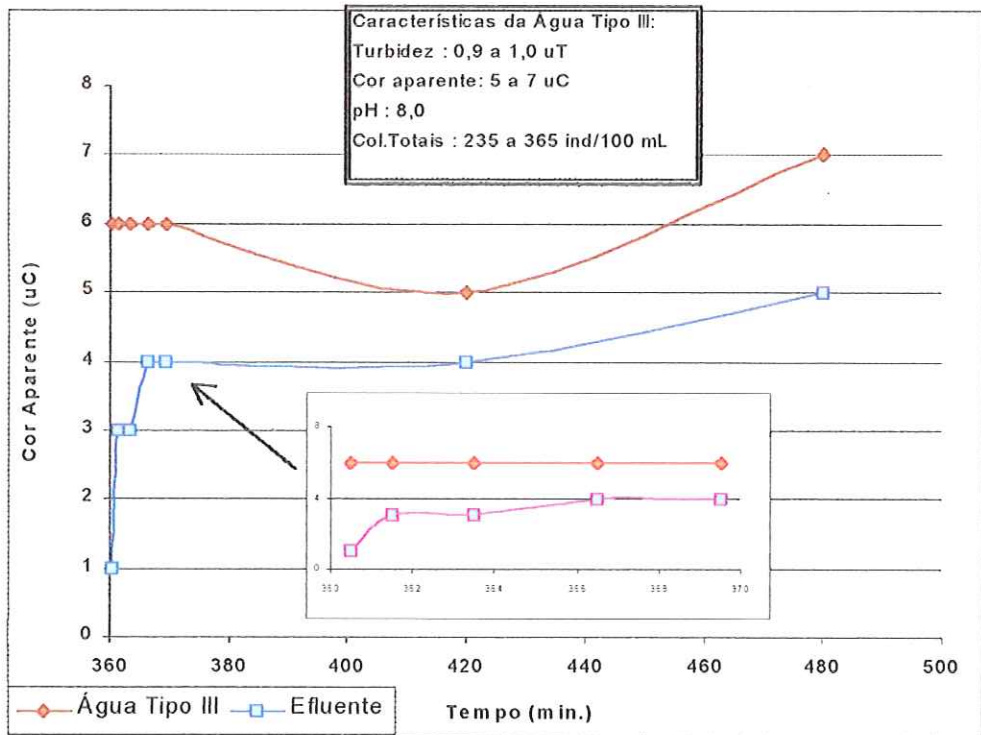


FIGURA C12 – Variação da Cor Aparente da água tipo III e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 19. Temp.: 25 ± 1° C

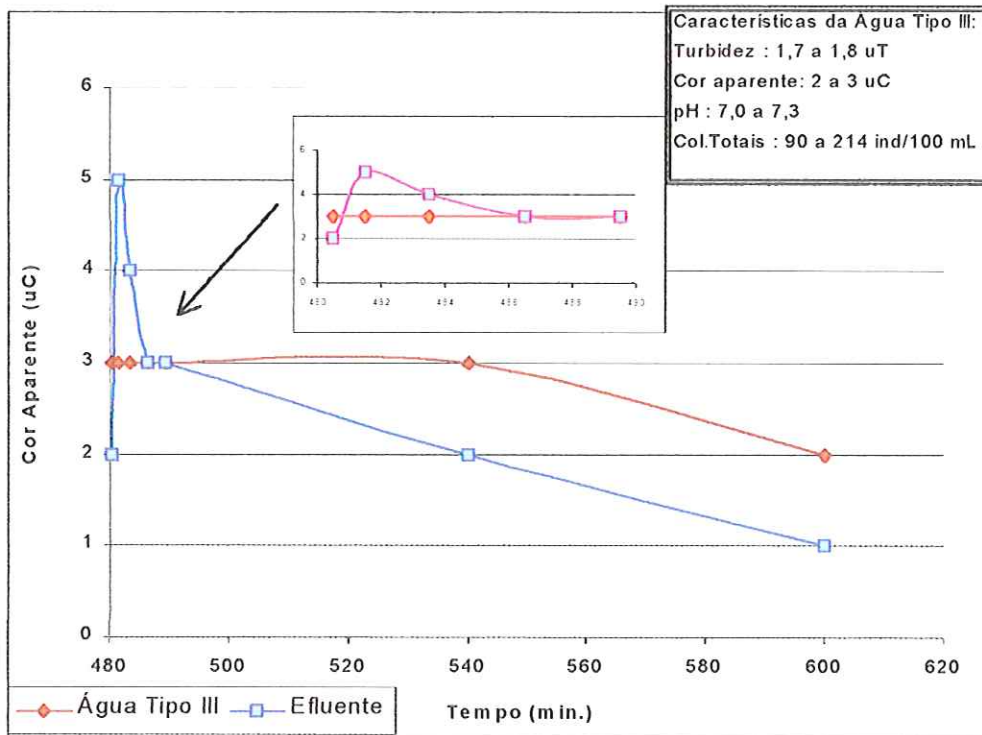


FIGURA C13 – Variação da Cor Aparente da água tipo III e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 20. Temp.: 25 ± 1° C

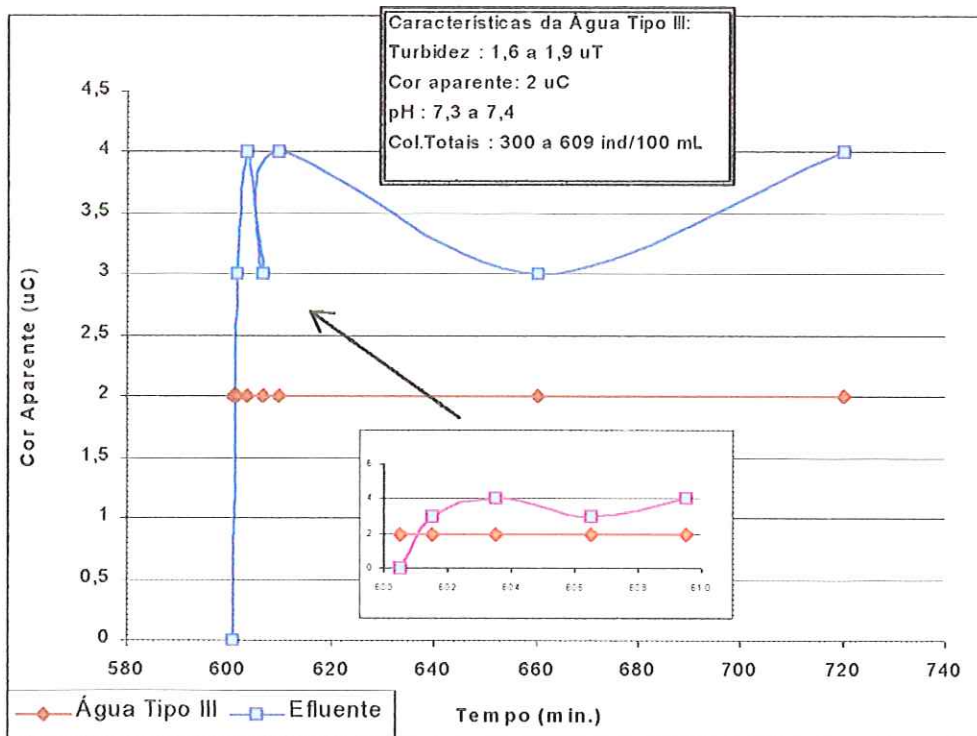


FIGURA C14 – Variação da Cor Aparente da água tipo III e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 21. Temp.: 25 ± 1° C

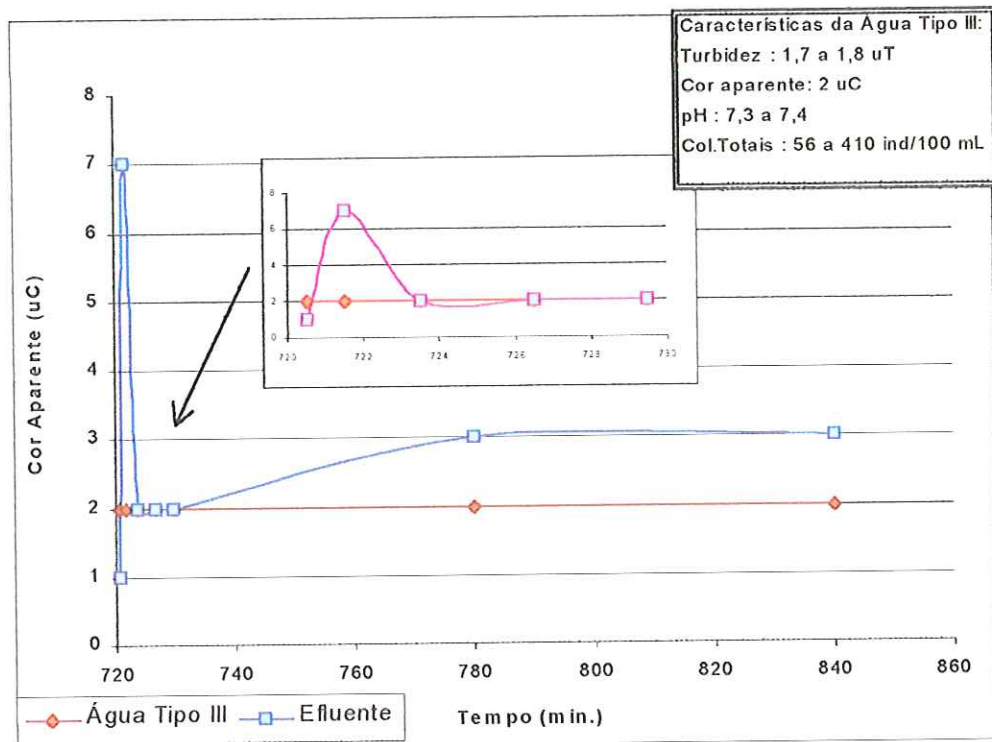


FIGURA C15 – Variação da Cor Aparente da água tipo III e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 22. Temp.: 25 ± 1° C

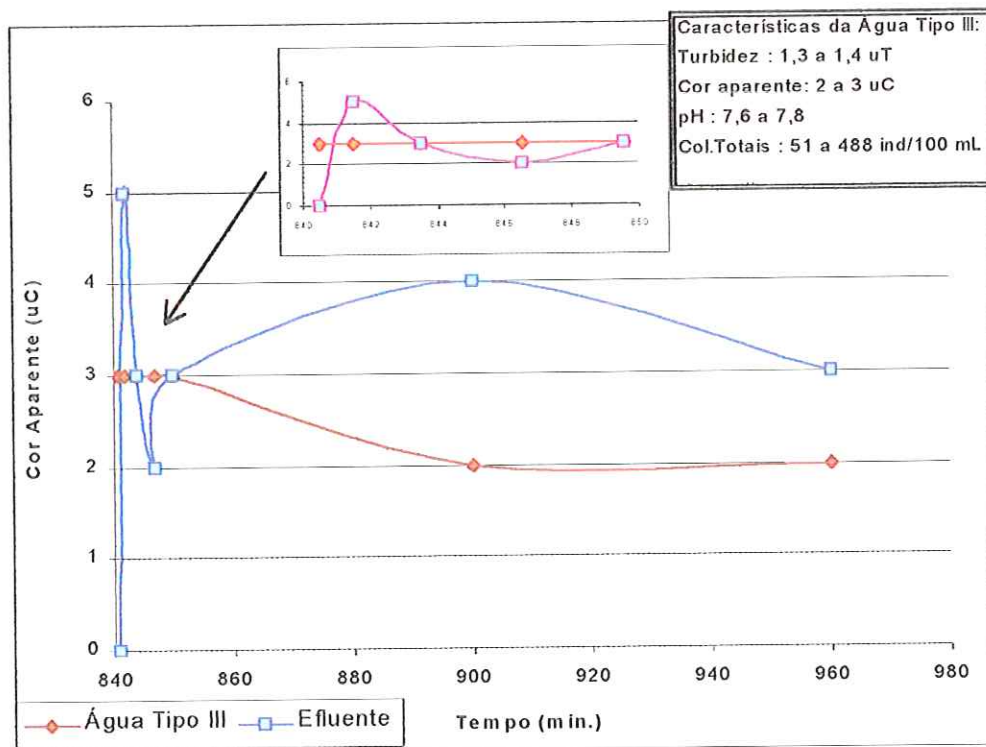


FIGURA C16 – Variação da Cor Aparente da água tipo III e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 23. Temp.: 25 ± 1° C

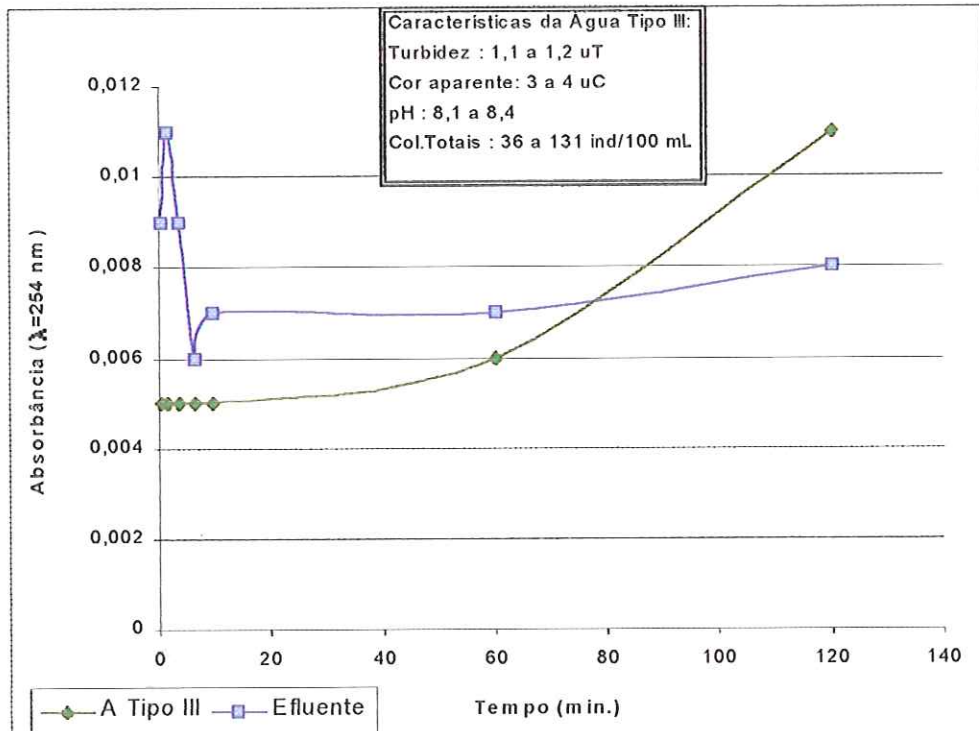


FIGURA C17 – Variação da Absorbância ($\lambda=254\text{nm}$) da água tipo III e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 16. Temp.: $25 \pm 1^\circ \text{C}$

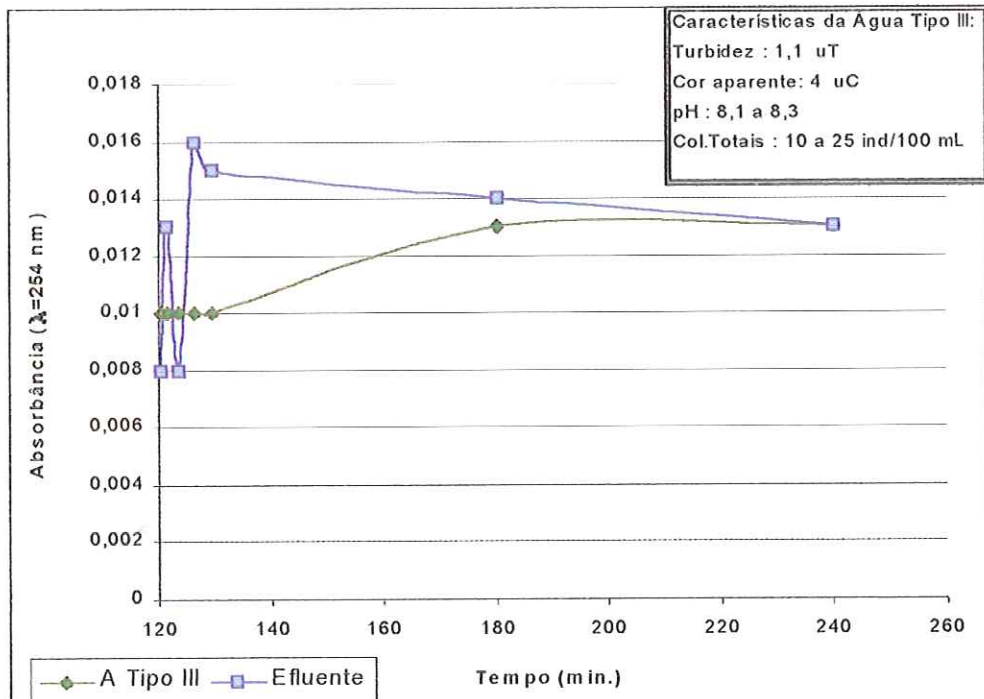


FIGURA C18 – Variação da Absorbância ($\lambda=254\text{nm}$) da água tipo III e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 17. Temp.: $25 \pm 1^\circ \text{C}$

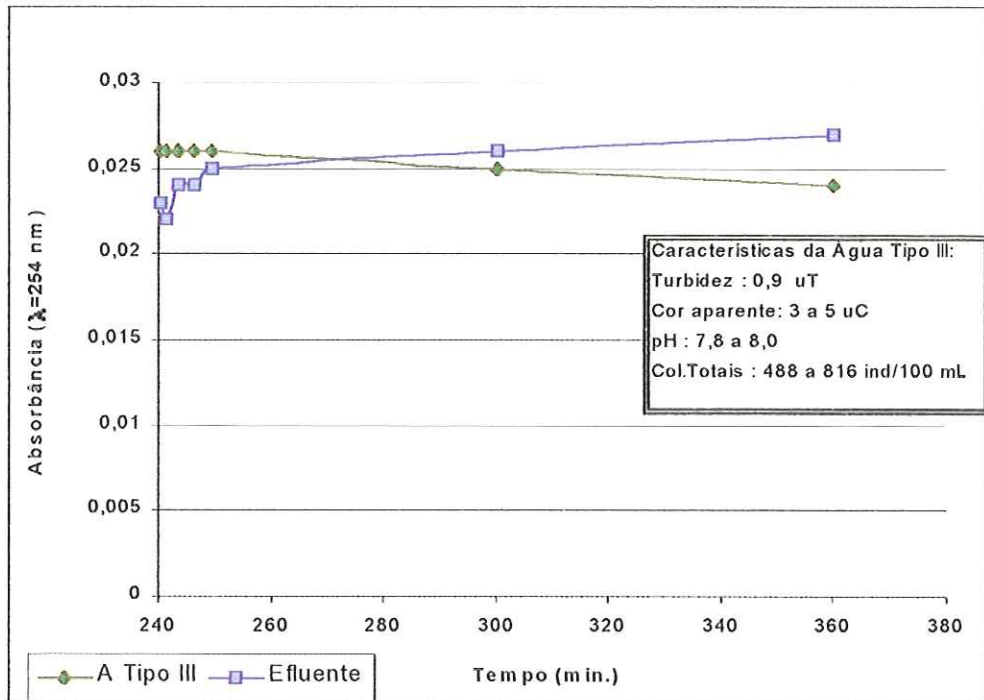


FIGURA C19 – Variação da Absorvância ($\lambda=254\text{nm}$) da água tipo III e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 18. Temp.: $25 \pm 1^\circ\text{C}$

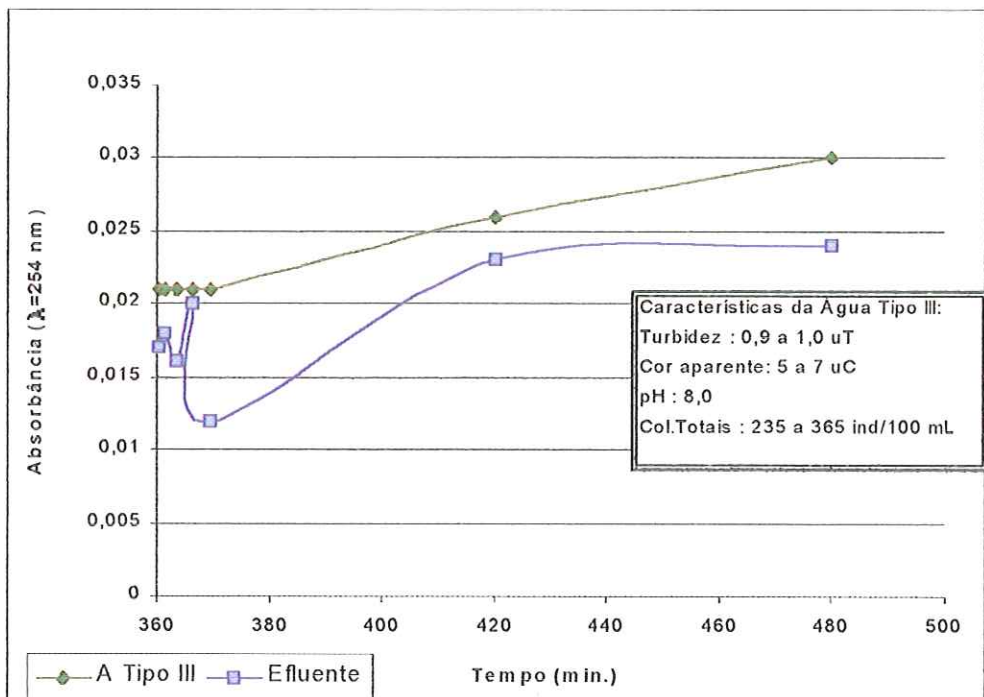


FIGURA C20 – Variação da Absorvância ($\lambda=254\text{nm}$) da água tipo III e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 19. Temp.: $25 \pm 1^\circ\text{C}$

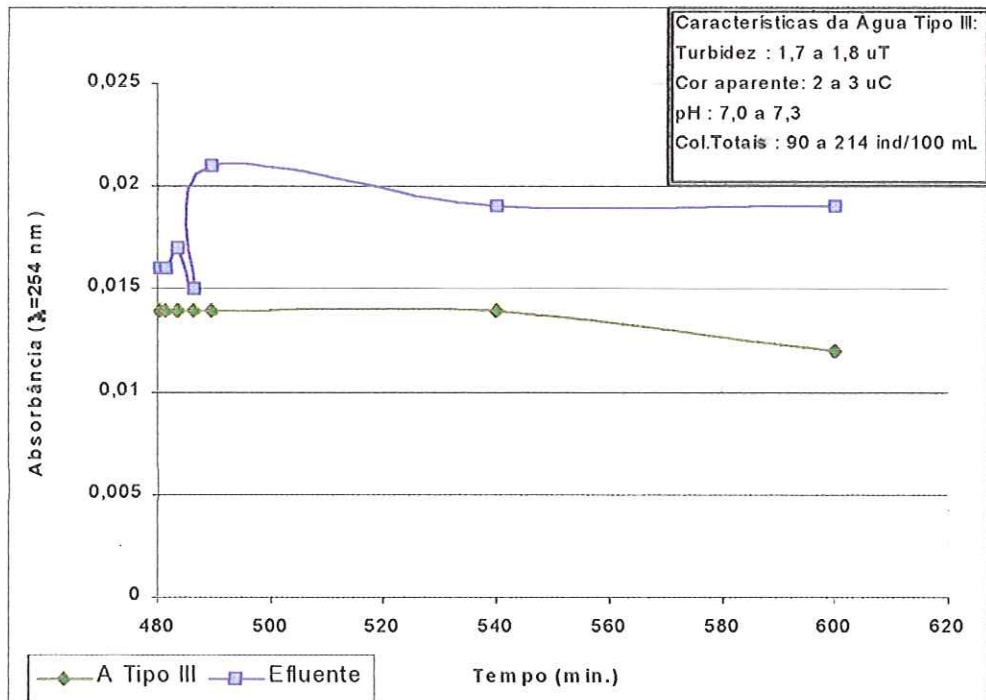


FIGURA C21 – Variação da Absorbância ($\lambda=254\text{nm}$) da água tipo III e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 20. Temp.: $25 \pm 1^\circ\text{C}$

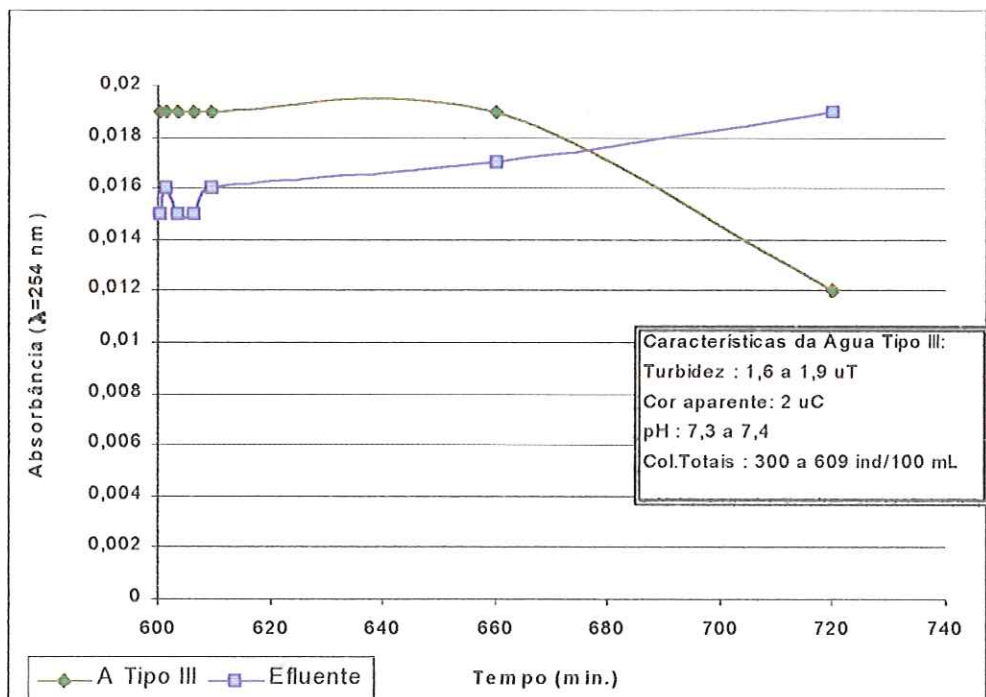


FIGURA C22 – Variação da Absorbância ($\lambda=254\text{nm}$) da água tipo III e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 21. Temp.: $25 \pm 1^\circ\text{C}$

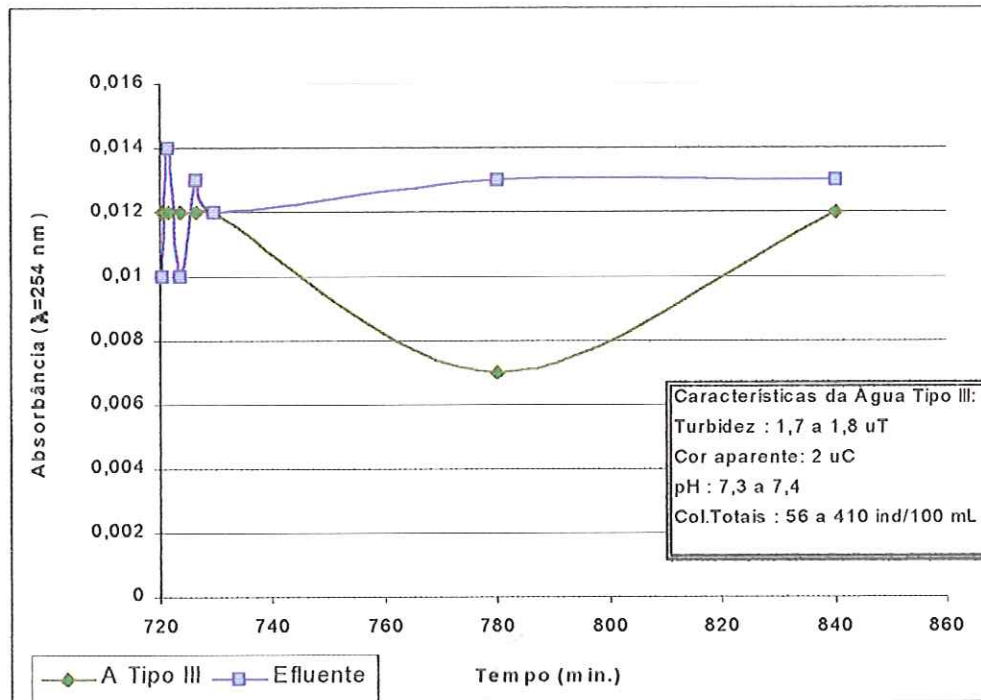


FIGURA C23 – Variação da Absorbância ($\lambda=254\text{nm}$) da água tipo III e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 22. Temp.: $25 \pm 1^\circ \text{C}$

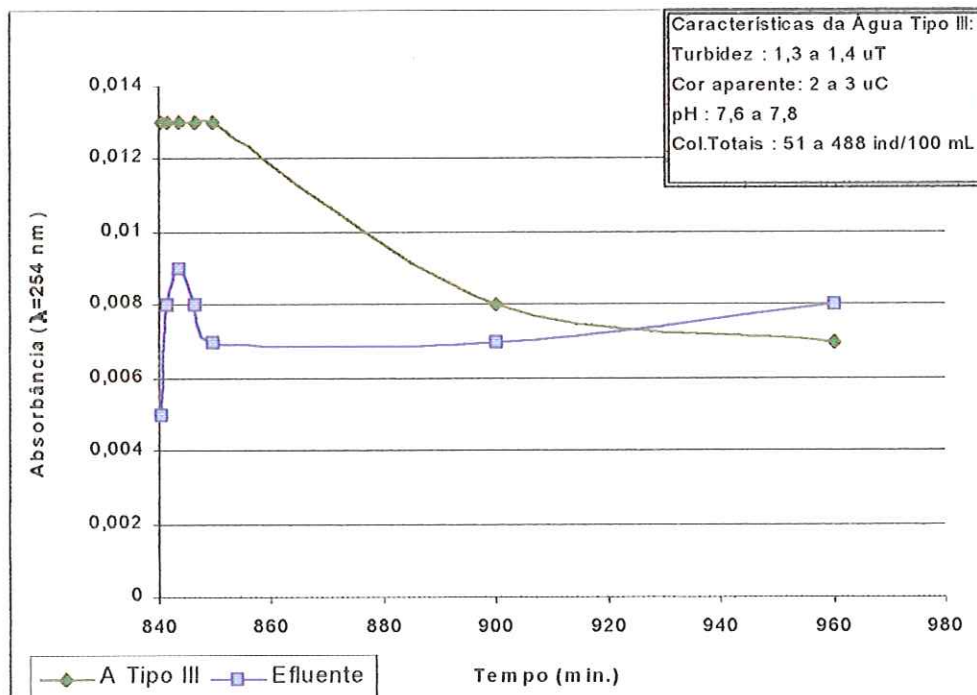


FIGURA C24 – Variação da Absorbância ($\lambda=254\text{nm}$) da água tipo III e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 23. Temp.: $25 \pm 1^\circ \text{C}$

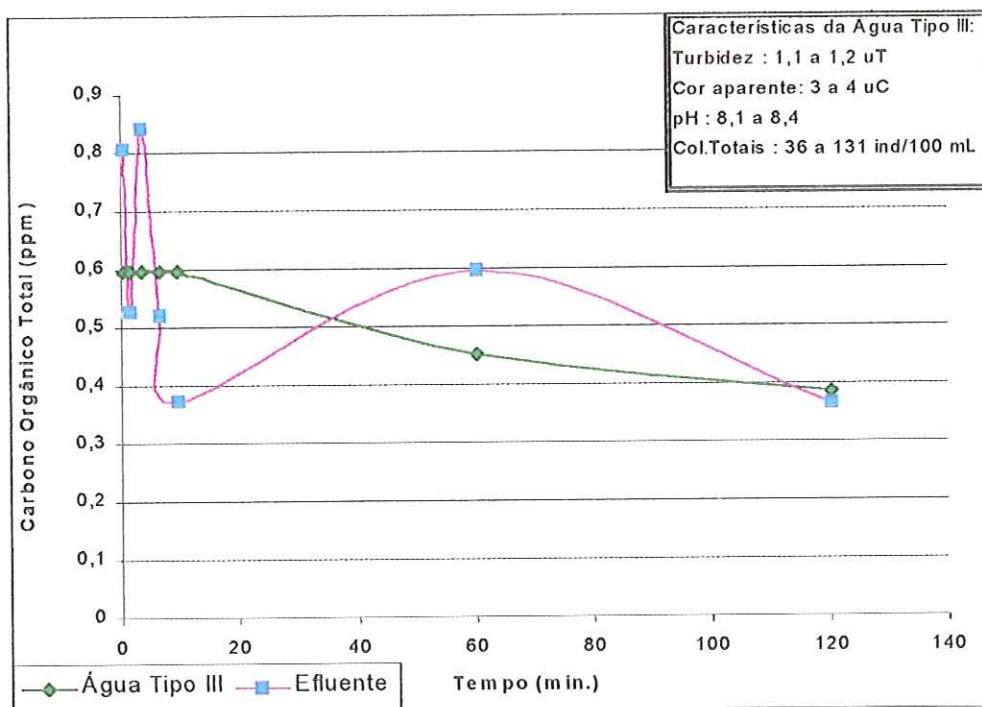


FIGURA C25 – Variação do Carbono Orgânico Total da água tipo III e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 16. Temp.: 25 ± 1° C

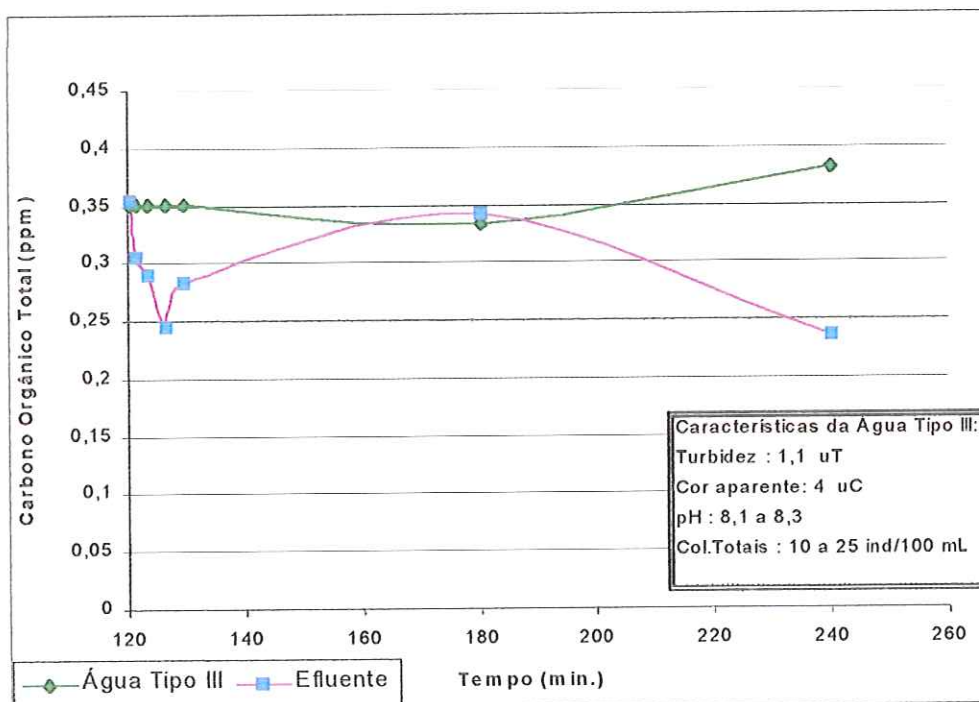


FIGURA C26 – Variação do Carbono Orgânico Total da água tipo III e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 17. Temp.: 25 ± 1° C

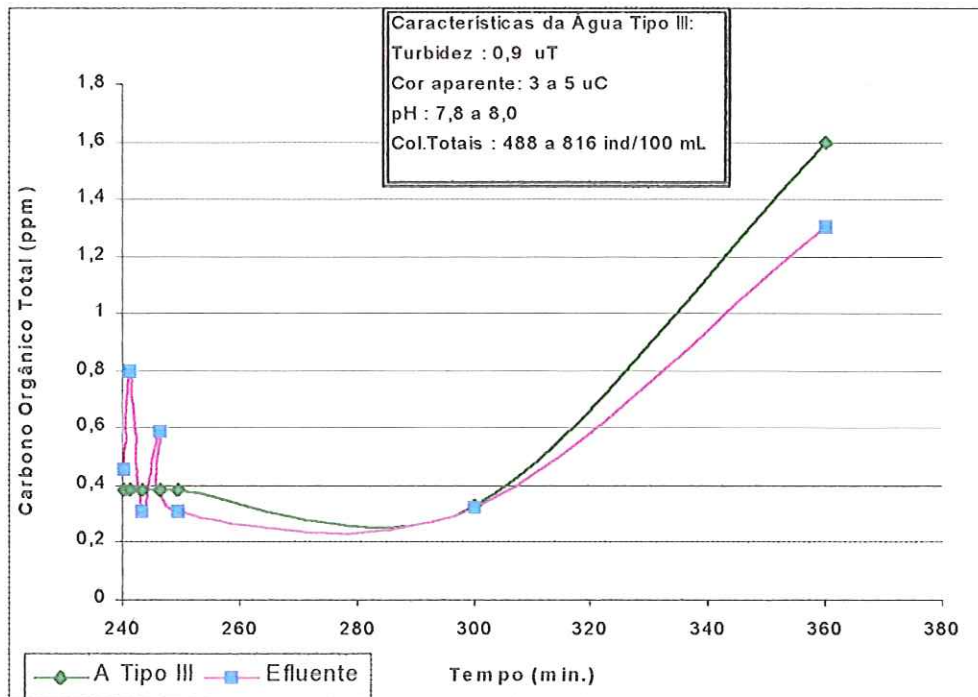


FIGURA C27 – Variação do Carbono Orgânico Total da água tipo III e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 18. Temp.: 25 ± 1° C

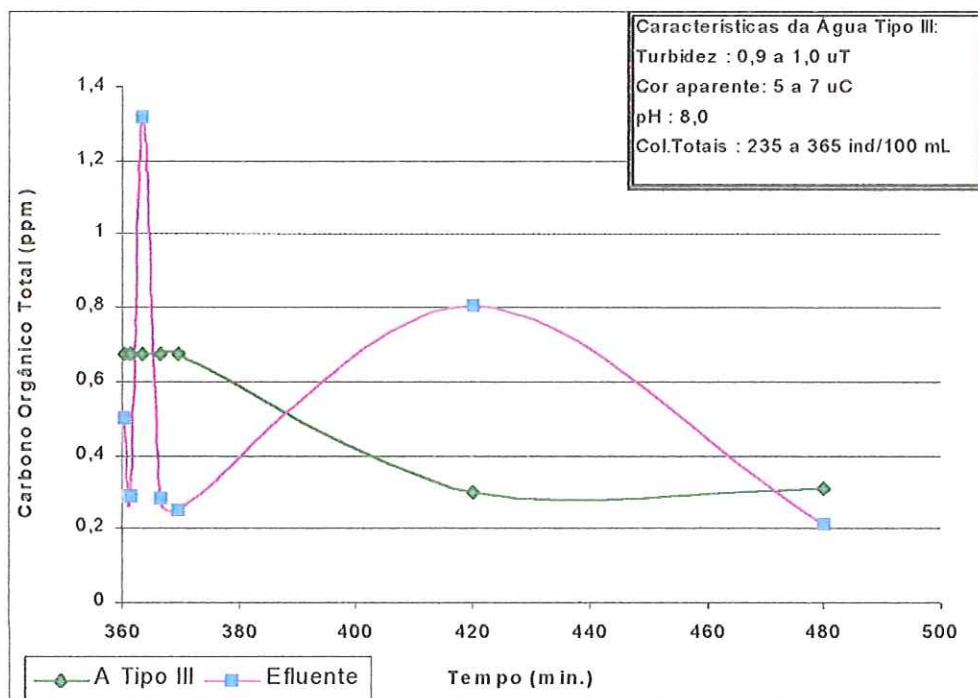


FIGURA C28 – Variação do Carbono Orgânico Total da água tipo III e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 19. Temp.: 25 ± 1° C

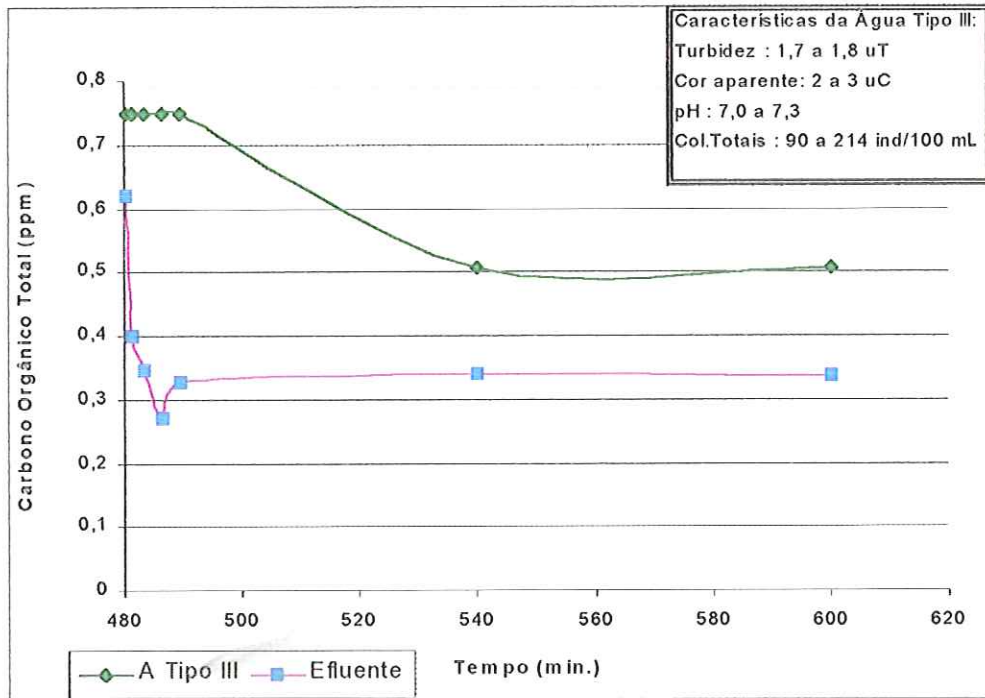


FIGURA C29 – Variação do Carbono Orgânico Total da água tipo III e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 20. Temp.: $25 \pm 1^\circ \text{C}$

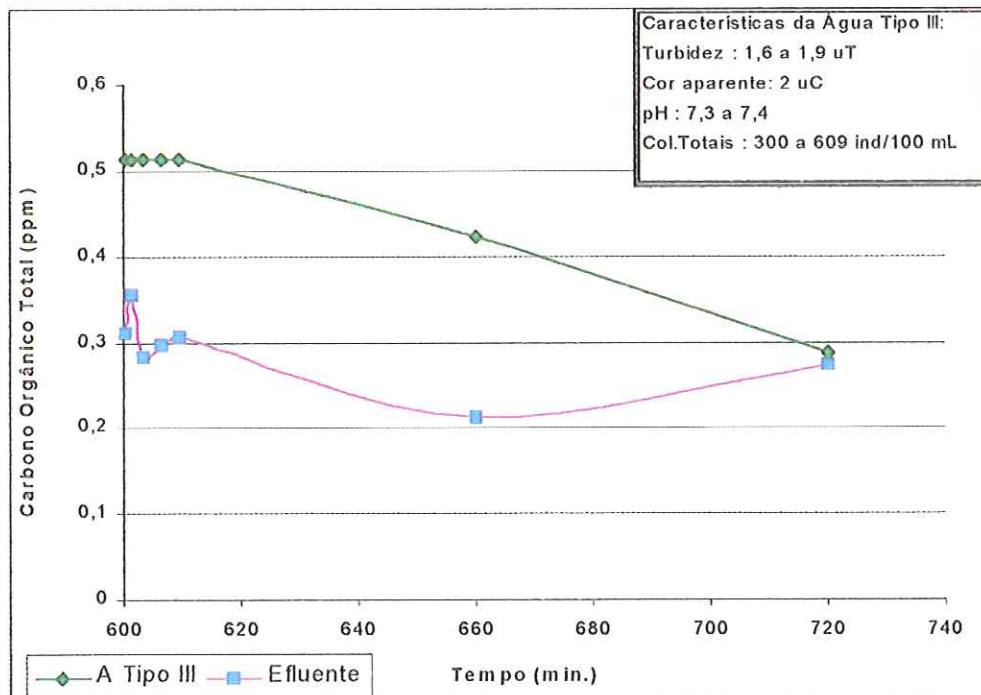


FIGURA C30 – Variação do Carbono Orgânico Total da água tipo III e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 21. Temp.: $25 \pm 1^\circ \text{C}$

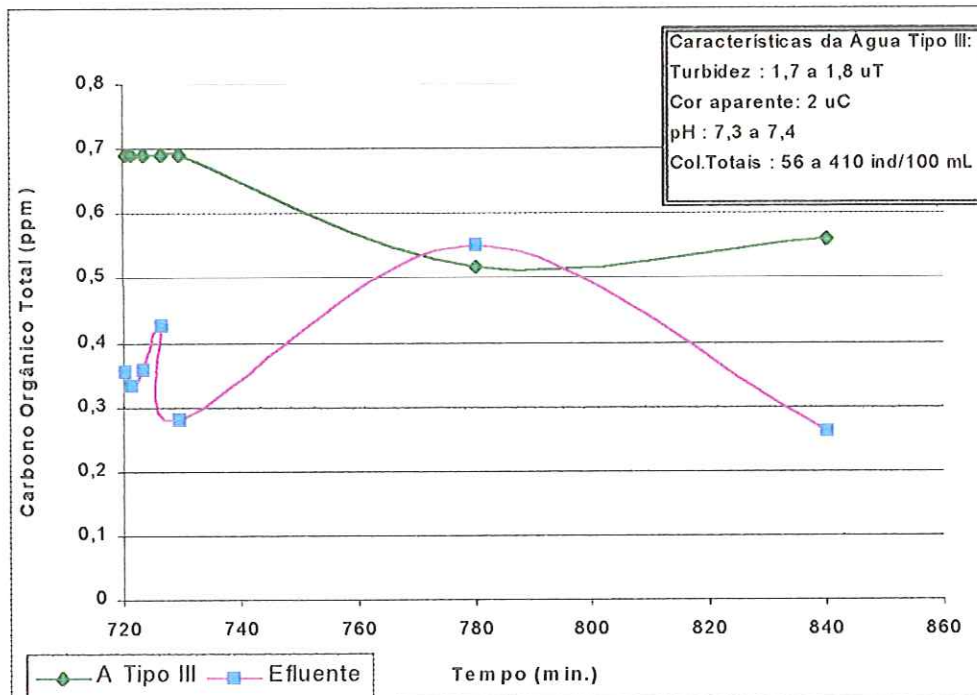


FIGURA C31 – Variação do Carbono Orgânico Total da água tipo III e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 22. Temp.: $25 \pm 1^\circ \text{C}$

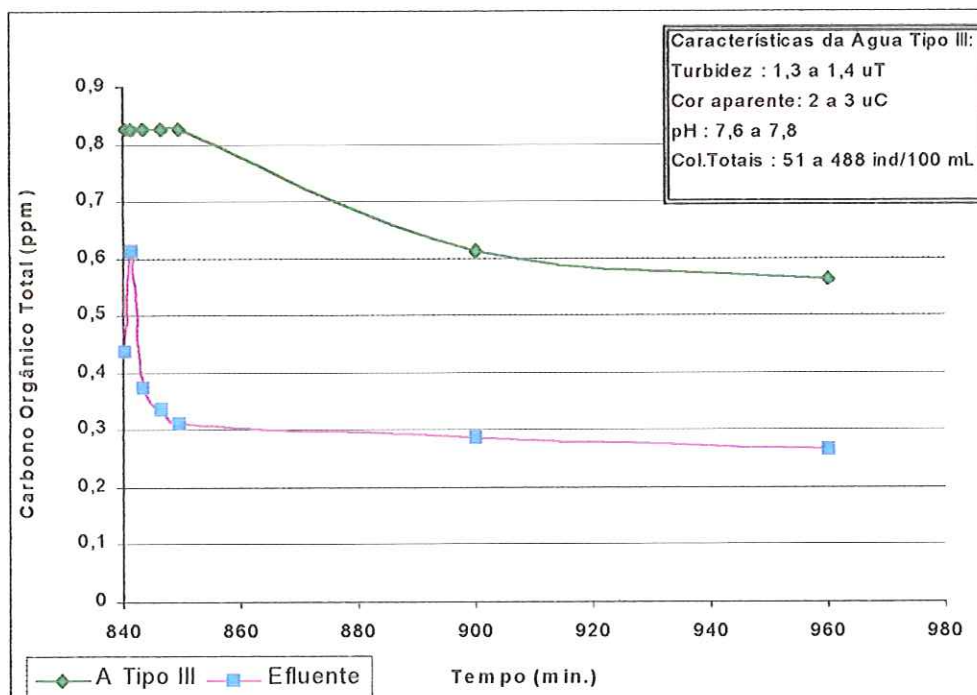


FIGURA C32 – Variação do Carbono Orgânico Total da água tipo III e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 23. Temp.: $25 \pm 1^\circ \text{C}$

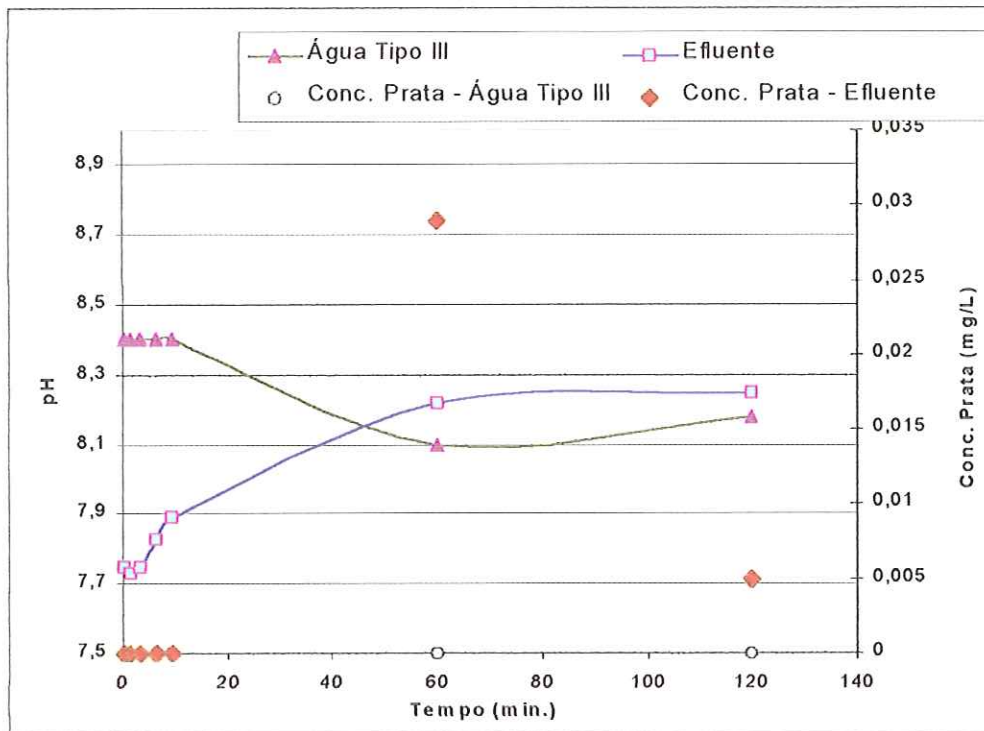


FIGURA C33 – Variação do pH e Concentração de Prata da água tipo III e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 16. Temp.: $25 \pm 1^\circ \text{C}$

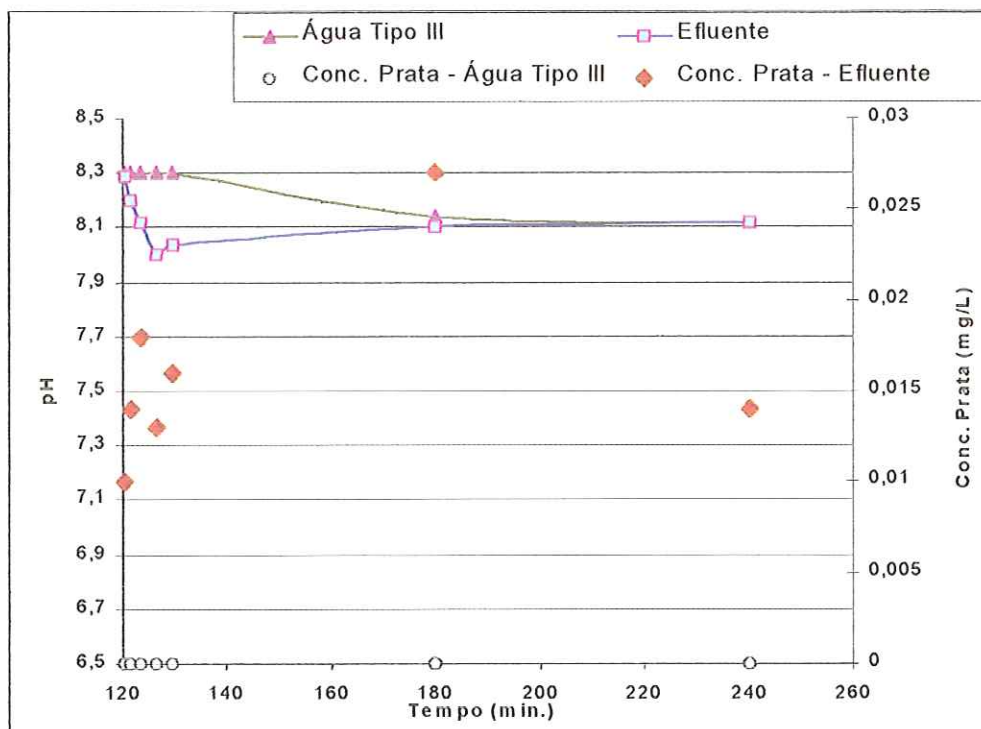


FIGURA C34 – Variação do pH e Concentração de Prata da água tipo III e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 17. Temp.: $25 \pm 1^\circ \text{C}$

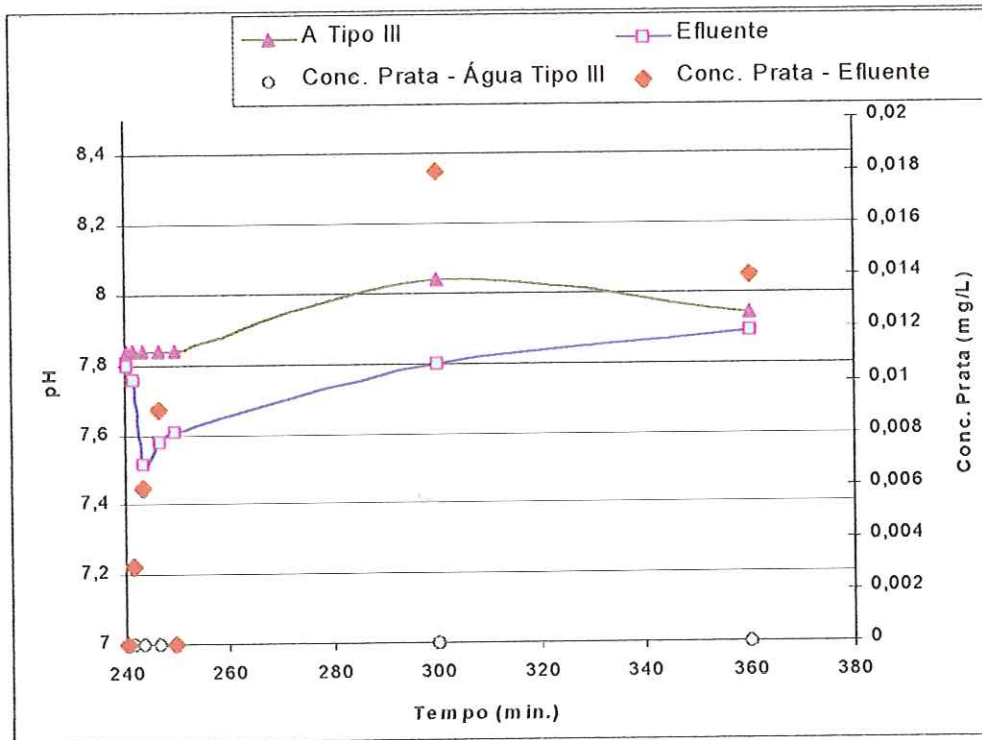


FIGURA C35 – Variação do pH e Concentração de Prata da água tipo III e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 18. Temp.: $25 \pm 1^\circ \text{C}$

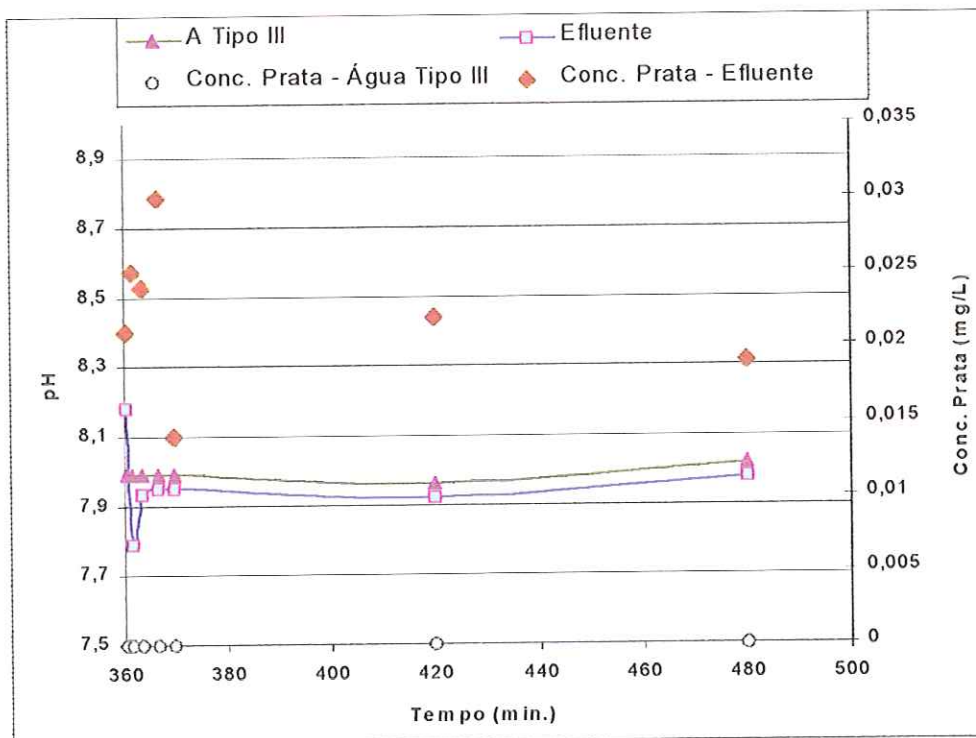


FIGURA C36 – Variação do pH e Concentração de Prata da água tipo III e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 19. Temp.: $25 \pm 1^\circ \text{C}$

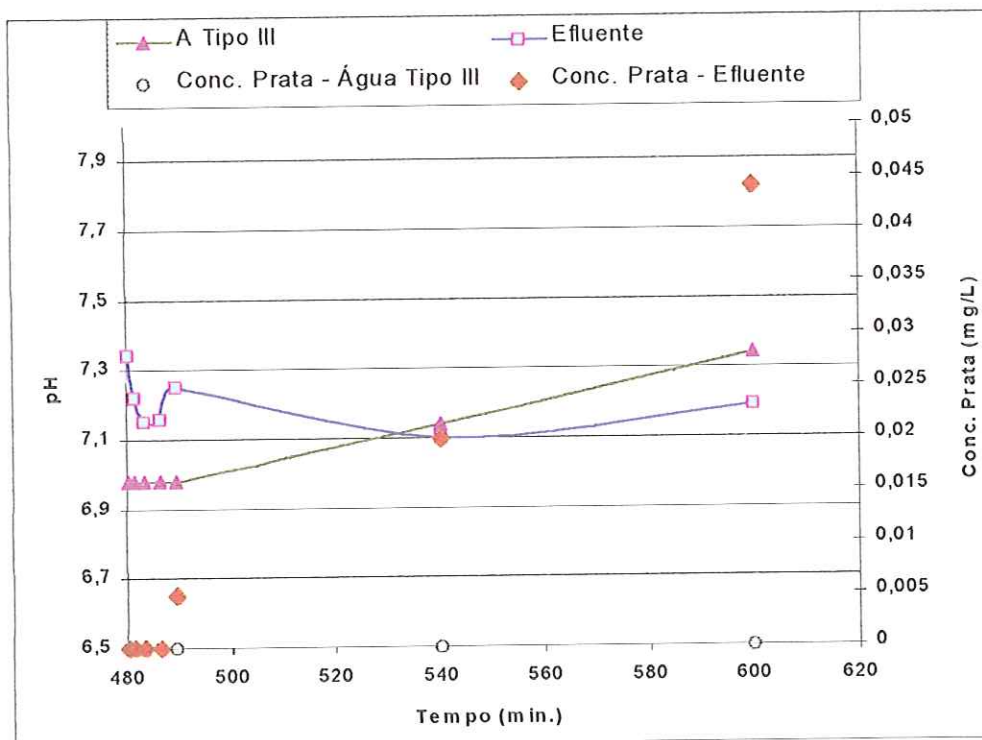


FIGURA C37 – Variação do pH e Concentração de Prata da água tipo III e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 20. Temp.: $25 \pm 1^\circ \text{C}$

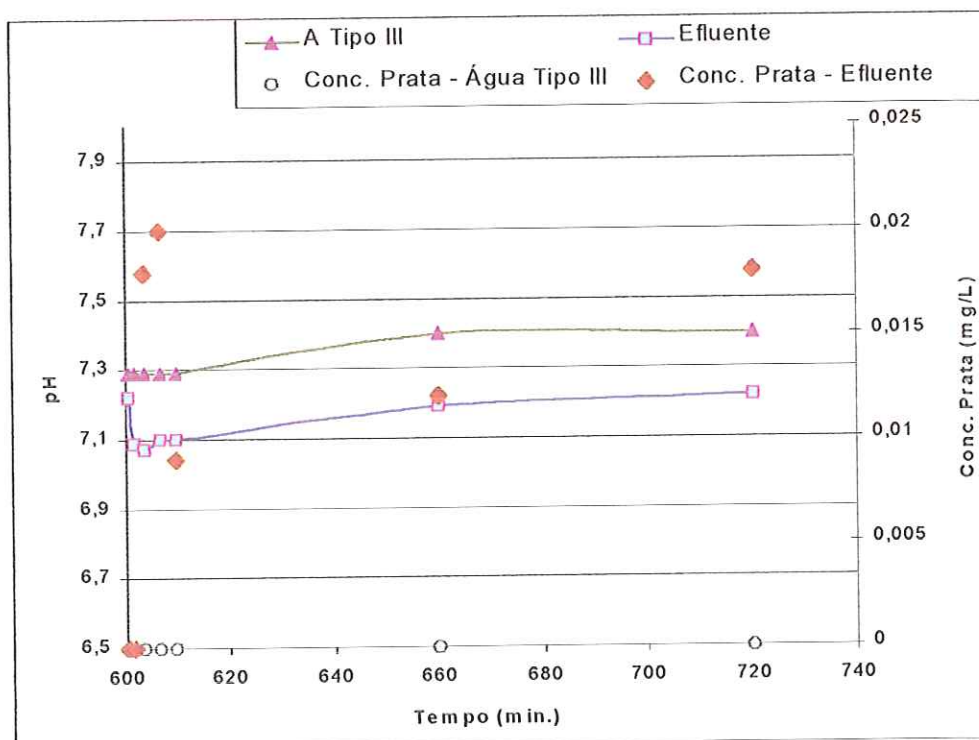


FIGURA C38 – Variação do pH e Concentração de Prata da água tipo III e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 21. Temp.: $25 \pm 1^\circ \text{C}$

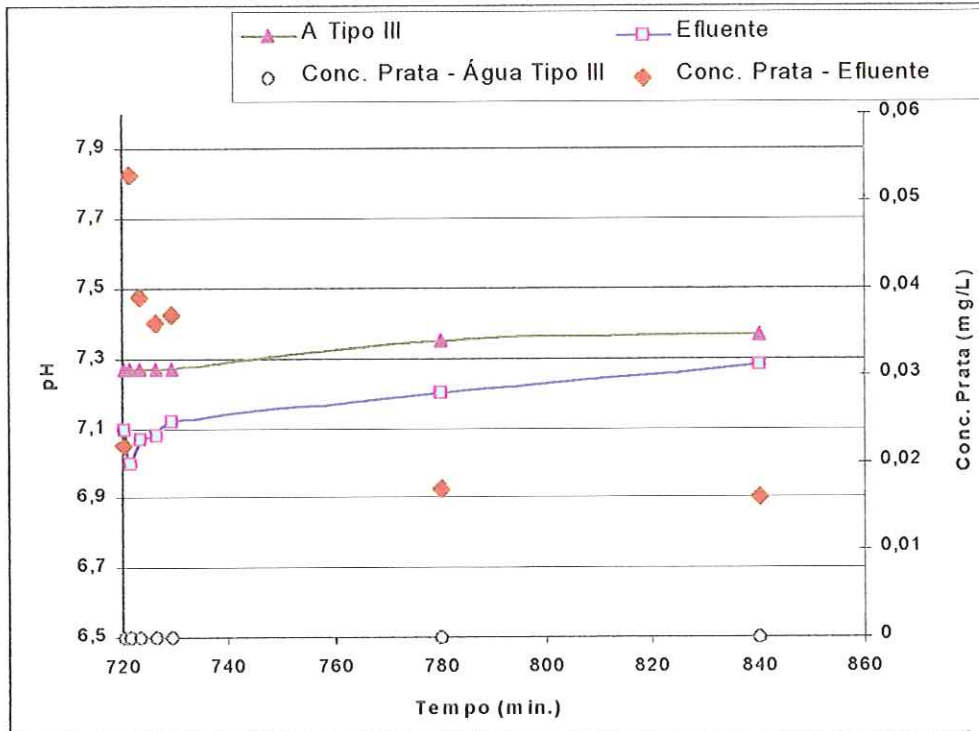


FIGURA C39 – Variação do pH e Concentração de Prata da água tipo III e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 22. Temp.: $25 \pm 1^\circ \text{C}$

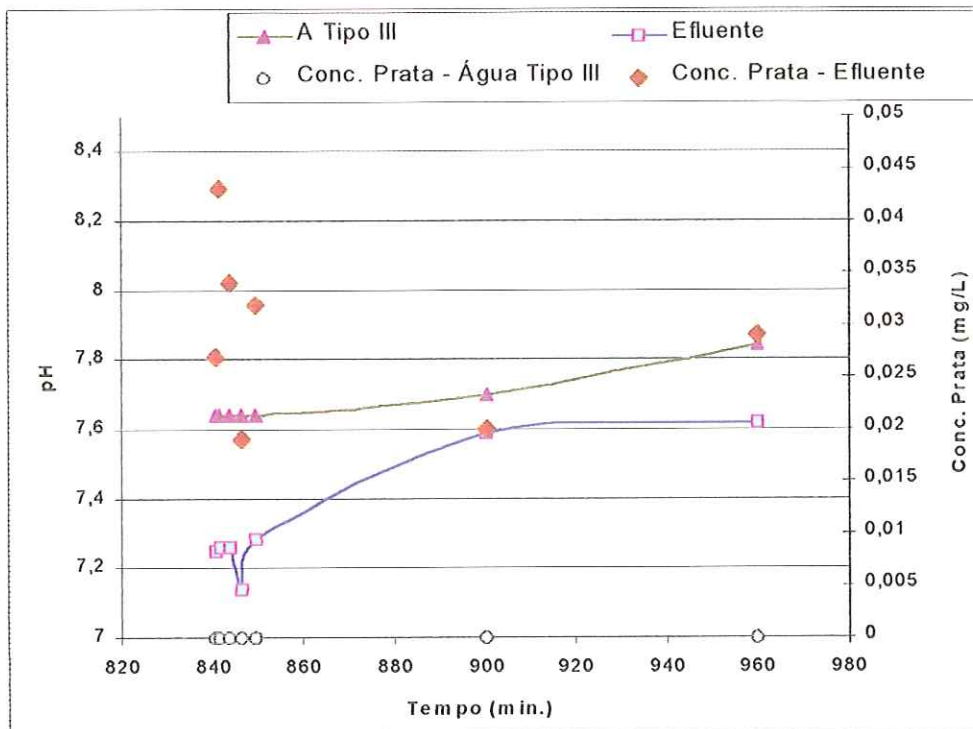


FIGURA C40 – Variação do pH e Concentração de Prata da água tipo III e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 23. Temp.: $25 \pm 1^\circ \text{C}$

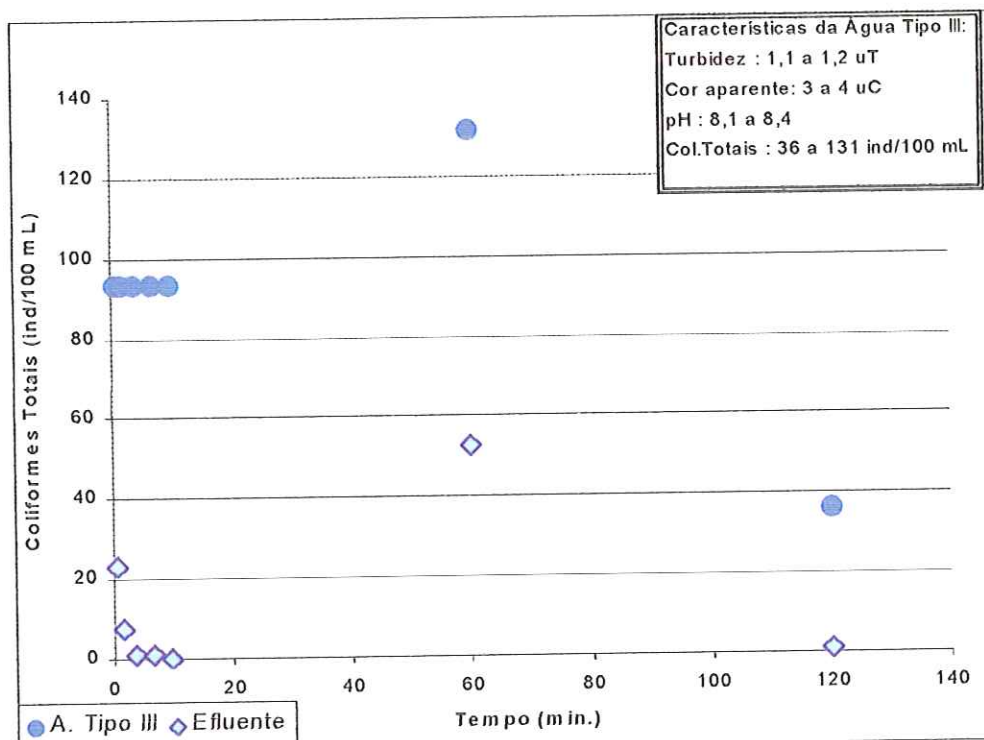


FIGURA C41 – Variação do NMP de Coliformes Totais/100 mL da água tipo III e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 16. Temp.: 25 ± 1° C

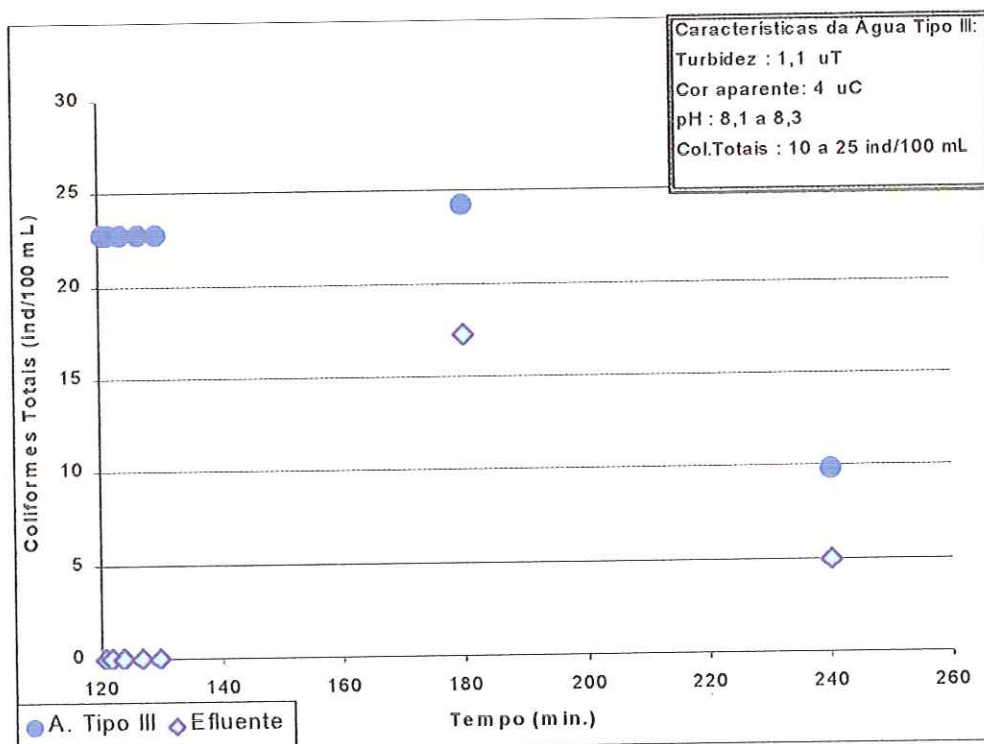


FIGURA C42 – Variação do NMP de Coliformes Totais/100 mL da água tipo III e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 17. Temp.: 25 ± 1° C

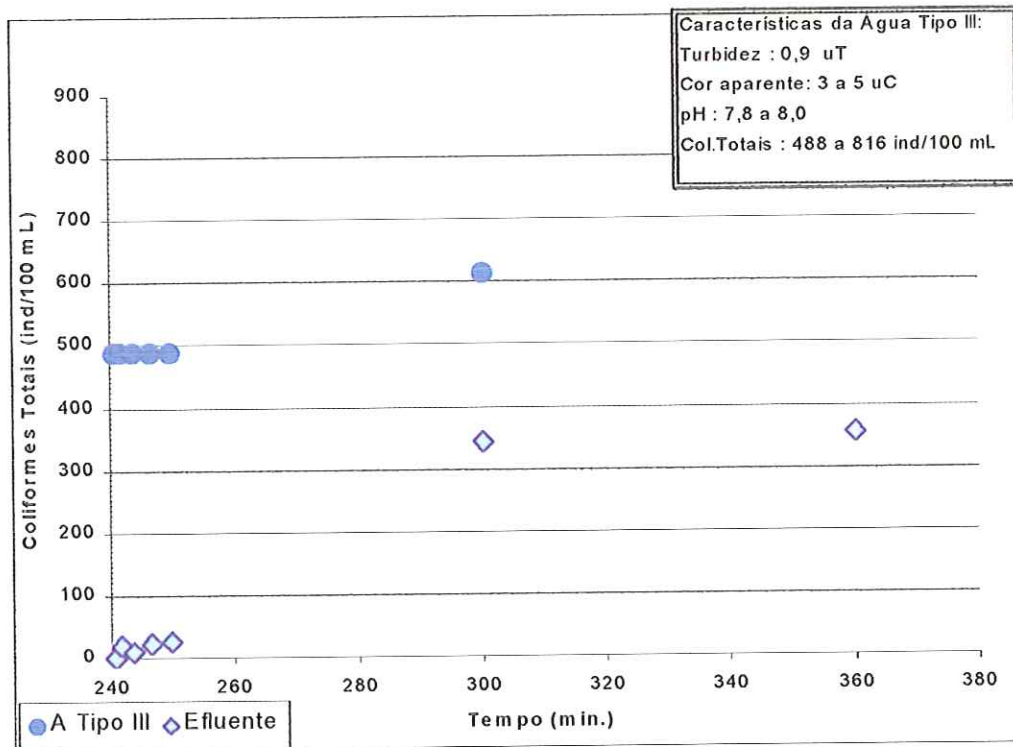


FIGURA C43 – Variação do NMP de Coliformes Totais/100 mL da água tipo III e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 18. Temp.: 25 ± 1° C

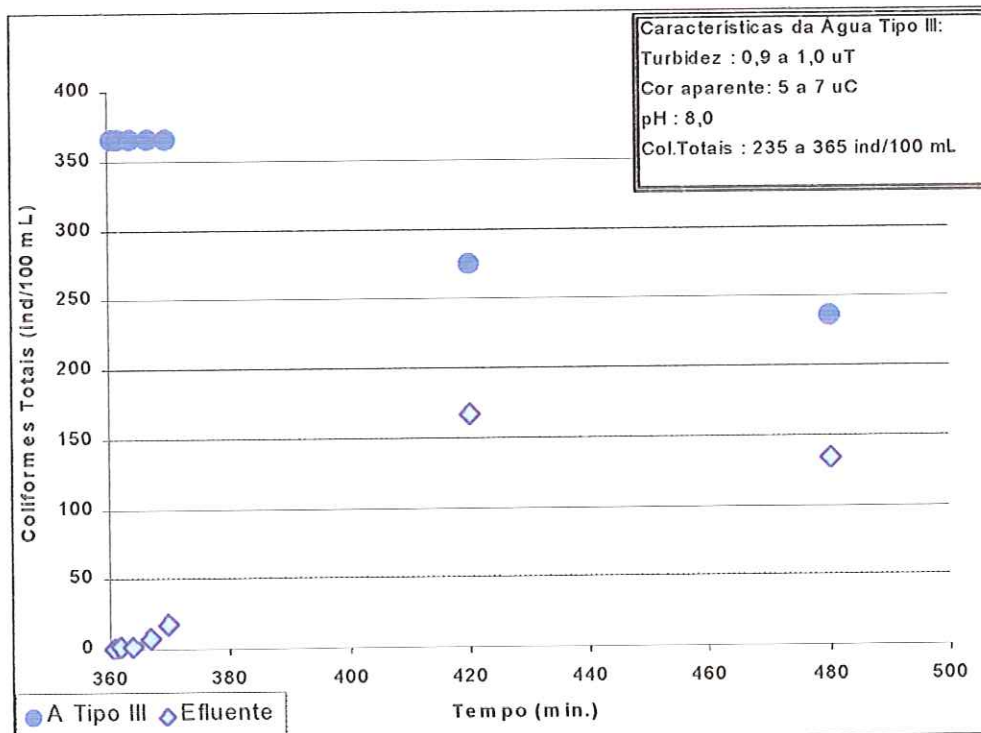


FIGURA C44 – Variação do NMP de Coliformes Totais/100 mL da água tipo III e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 19. Temp.: 25 ± 1° C

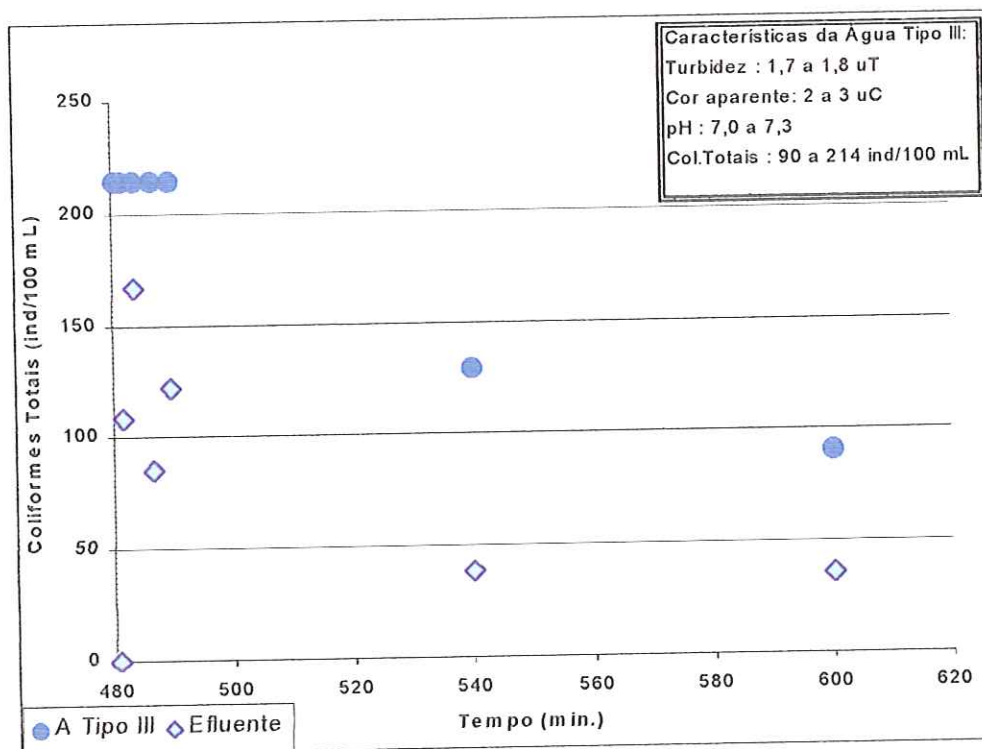


FIGURA C45 – Variação do NMP de Coliformes Totais/100 mL da água tipo III e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 20. Temp.: $25 \pm 1^\circ \text{C}$

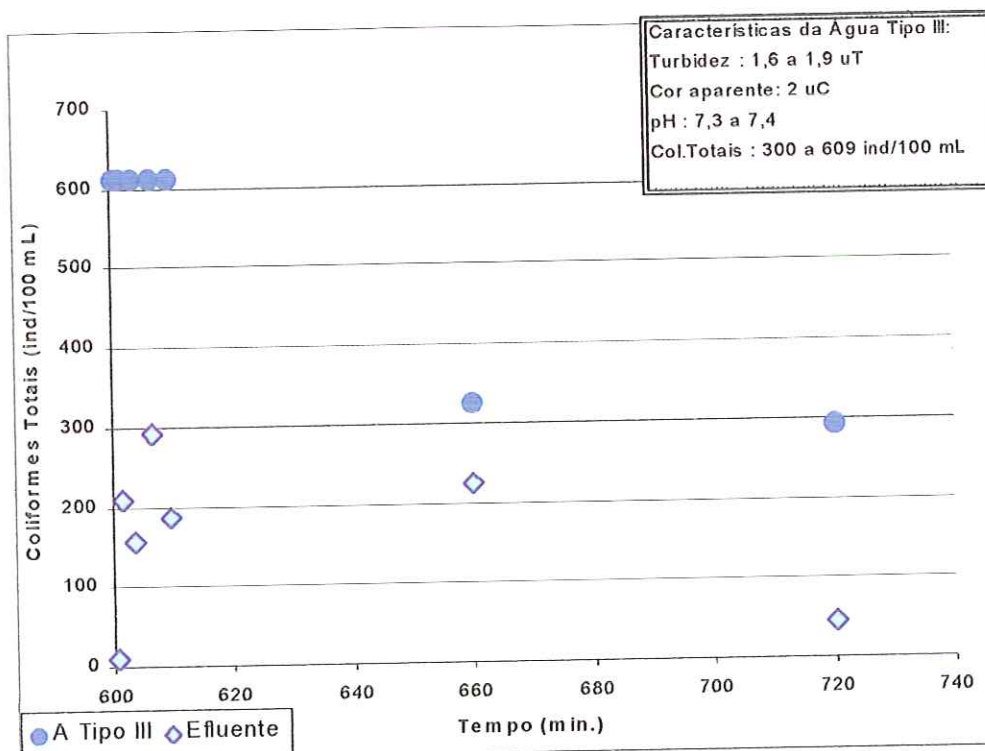


FIGURA C46 – Variação do NMP de Coliformes Totais/100 mL da água tipo III e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 21. Temp.: $25 \pm 1^\circ \text{C}$

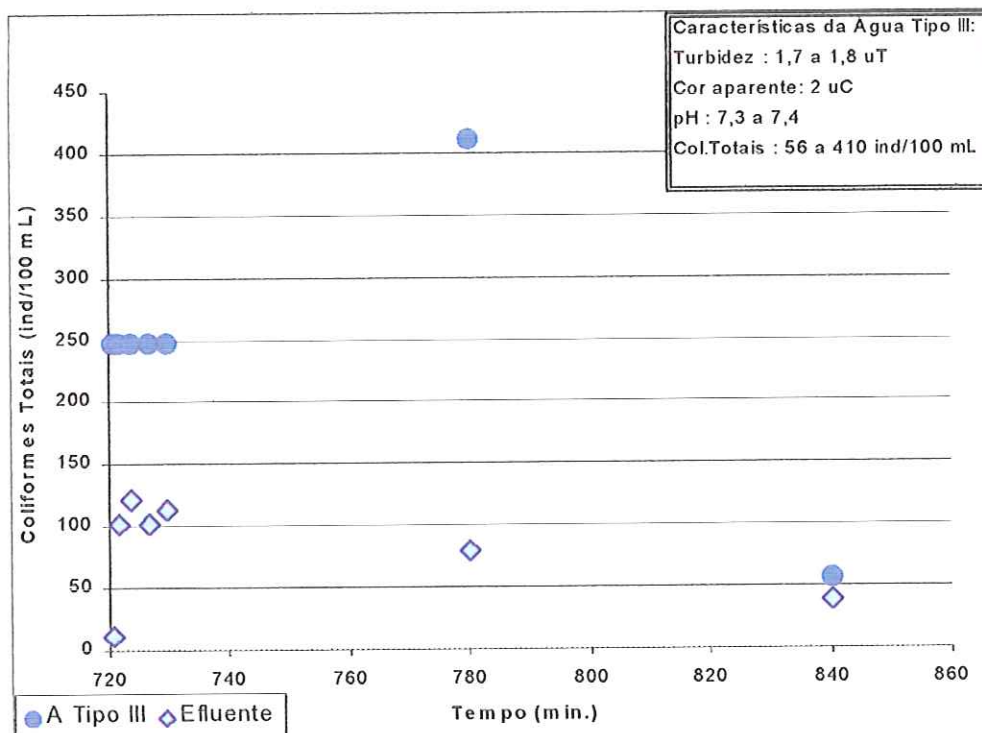


FIGURA C47 – Variação do NMP de Coliformes Totais/100 mL da água tipo III e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 22. Temp.: 25 ± 1° C

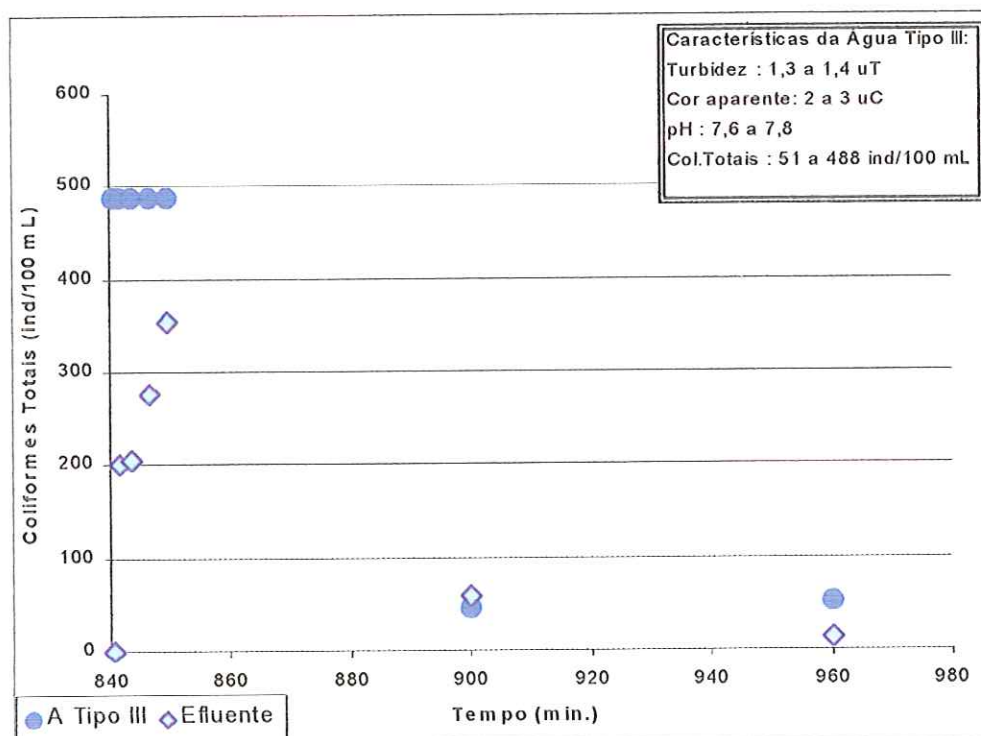


FIGURA C48 – Variação do NMP de Coliformes Totais/100 mL da água tipo III e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 23. Temp.: 25 ± 1° C

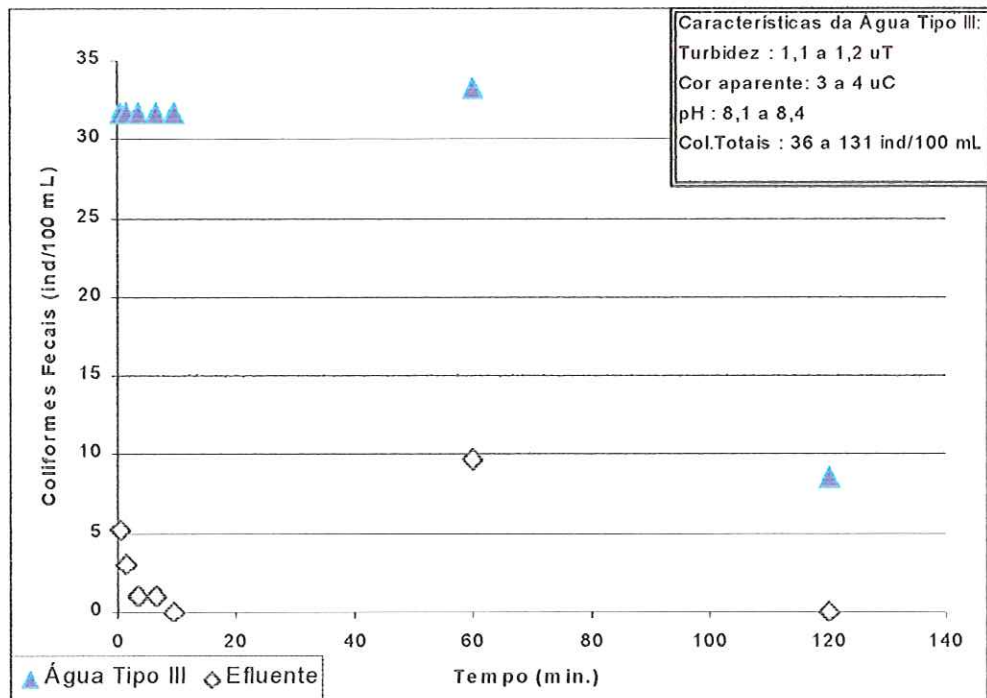


FIGURA C49 – Variação do NMP de Coliformes Fecais/100 mL da água tipo III e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 16. Temp.: 25 ± 1° C

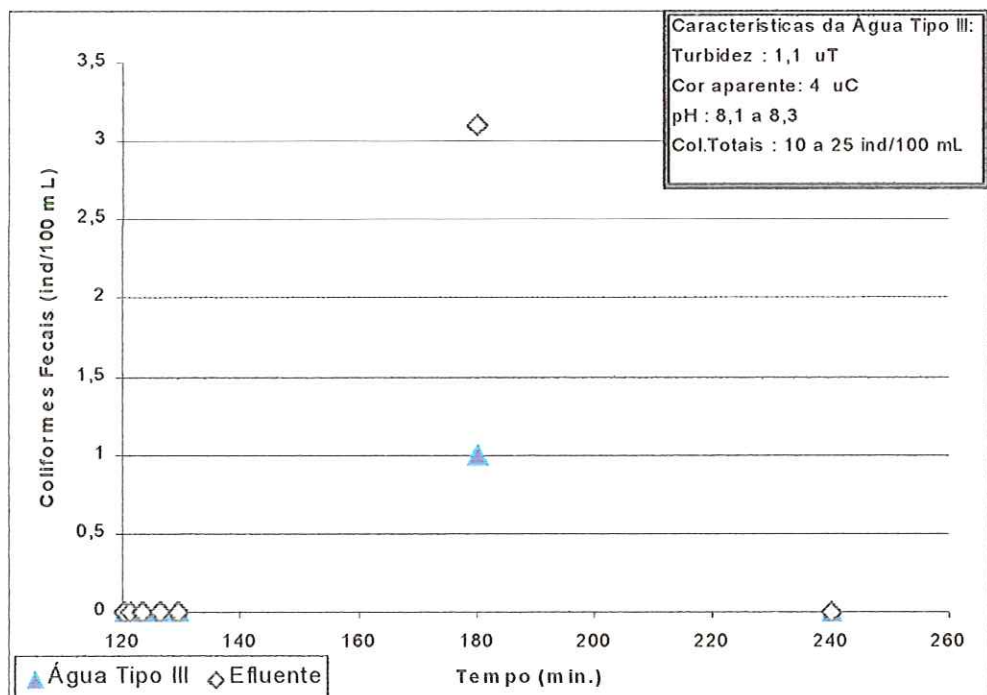


FIGURA C50 – Variação do NMP de Coliformes Fecais/100 mL da água tipo III e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 17. Temp.: 25 ± 1° C

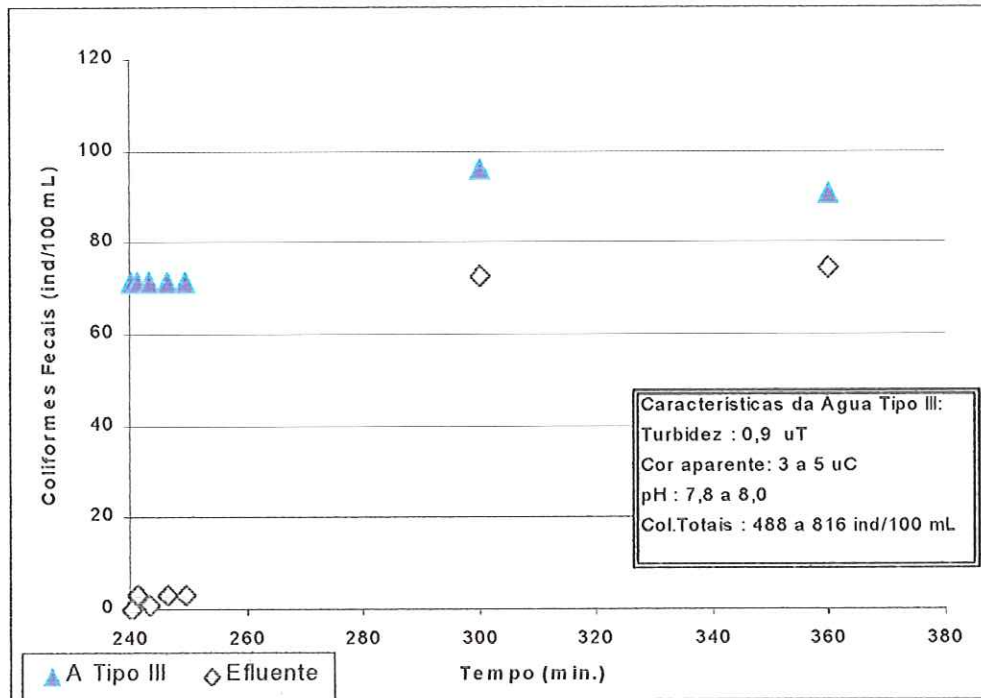


FIGURA C51 – Variação do NMP de Coliformes Fecais/100 mL da água tipo III e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 18. Temp.: $25 \pm 1^\circ \text{C}$

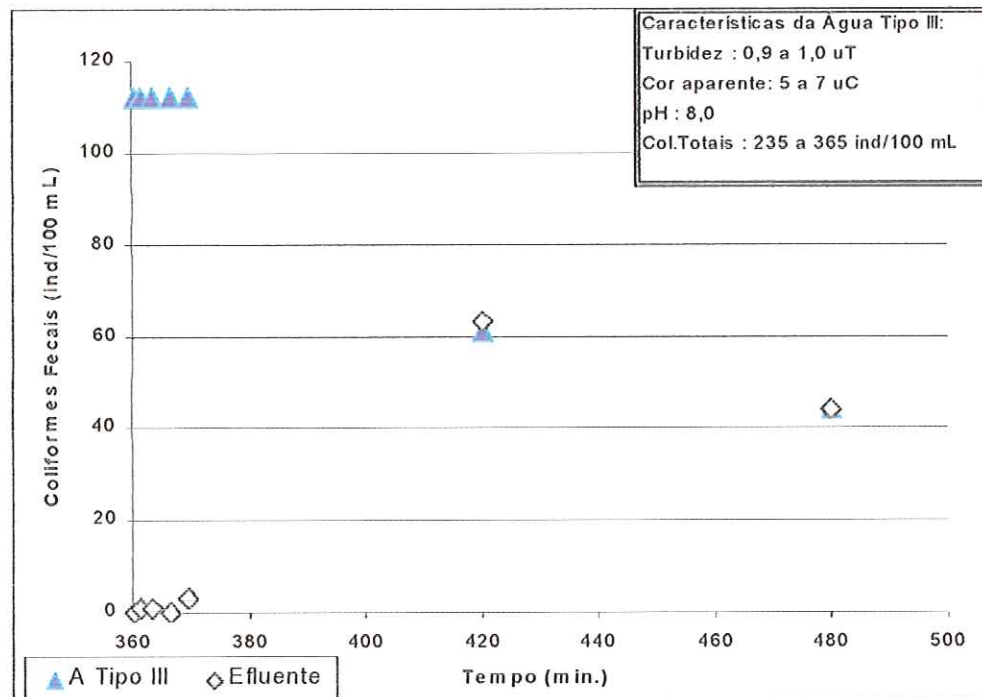


FIGURA C52 – Variação do NMP de Coliformes Fecais/100 mL da água tipo III e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 19. Temp.: $25 \pm 1^\circ \text{C}$

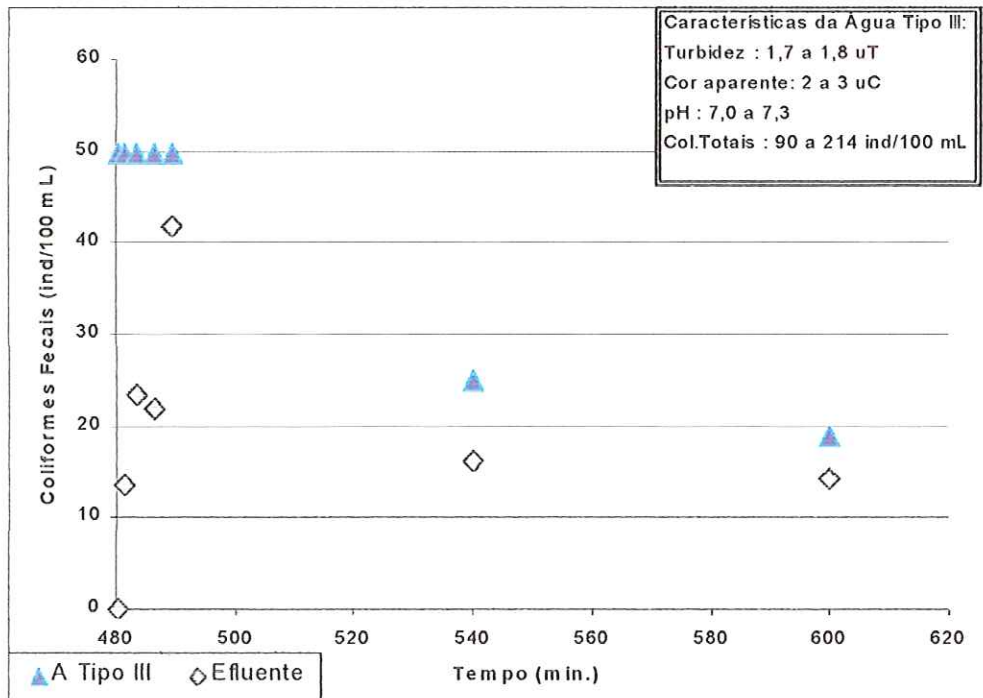


FIGURA C53 – Variação do NMP de Coliformes Fecais/100 mL da água tipo III e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 20. Temp.: 25 ± 1° C

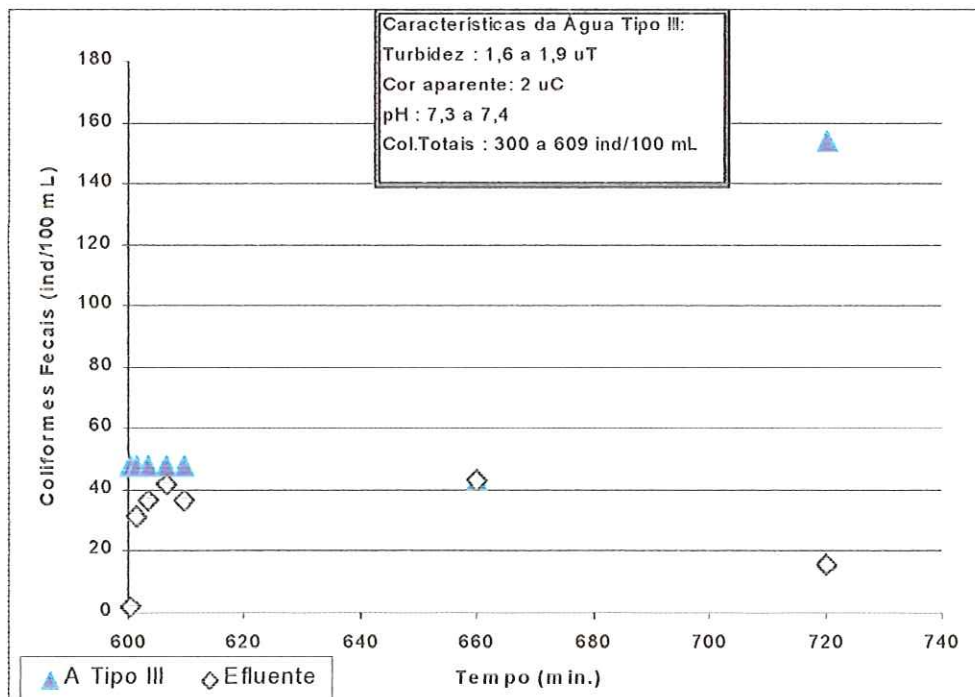


FIGURA C54 – Variação do NMP de Coliformes Fecais/100 mL da água tipo III e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 21. Temp.: 25 ± 1° C

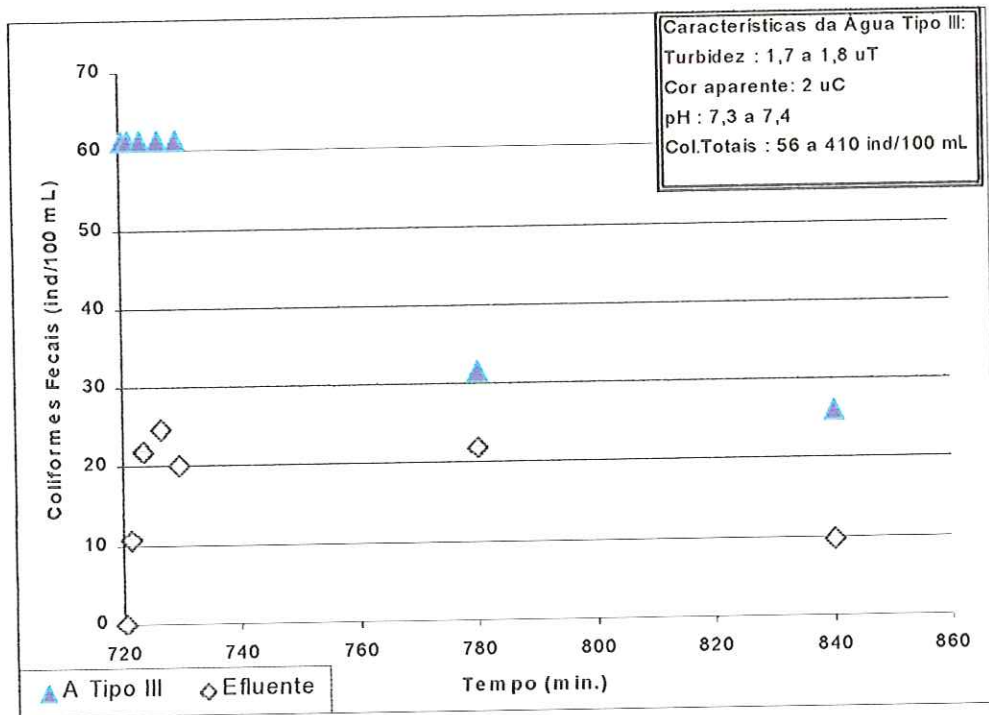


FIGURA C55 – Variação do NMP de Coliformes Fecais/100 mL da água tipo III e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 22. Temp.: 25 ± 1° C

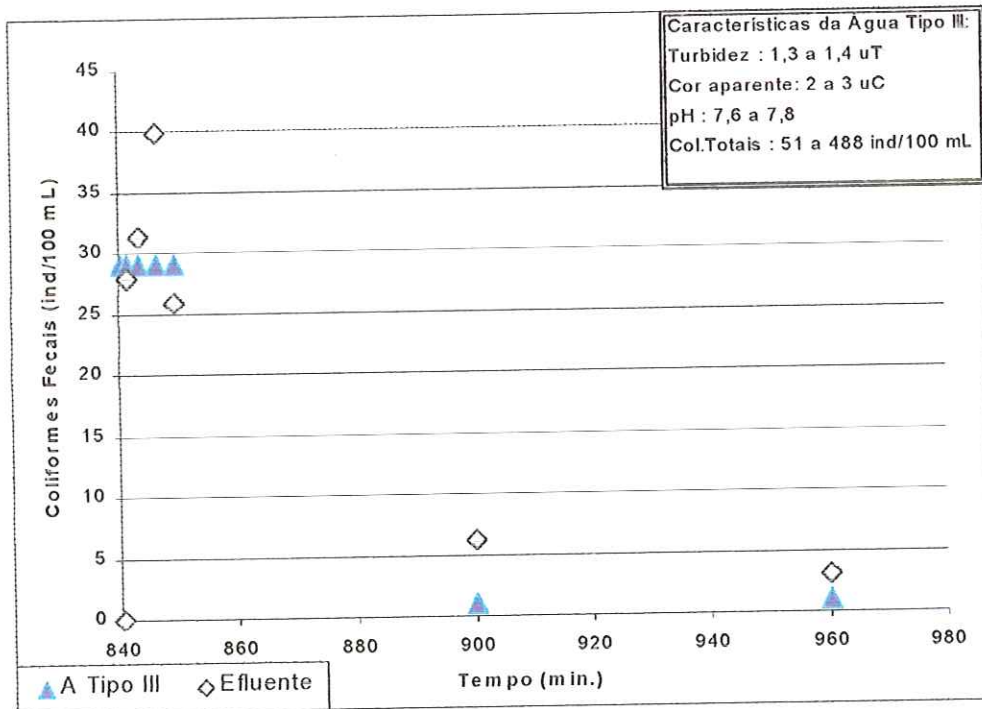


FIGURA C56 – Variação do NMP de Coliformes Fecais/100 mL da água tipo III e do efluente em função do tempo de operação do filtro no ensaio 23. Temp.: 25 ± 1° C



ANEXO D

Fotos obtidas no microscópio eletrônico
de varredura

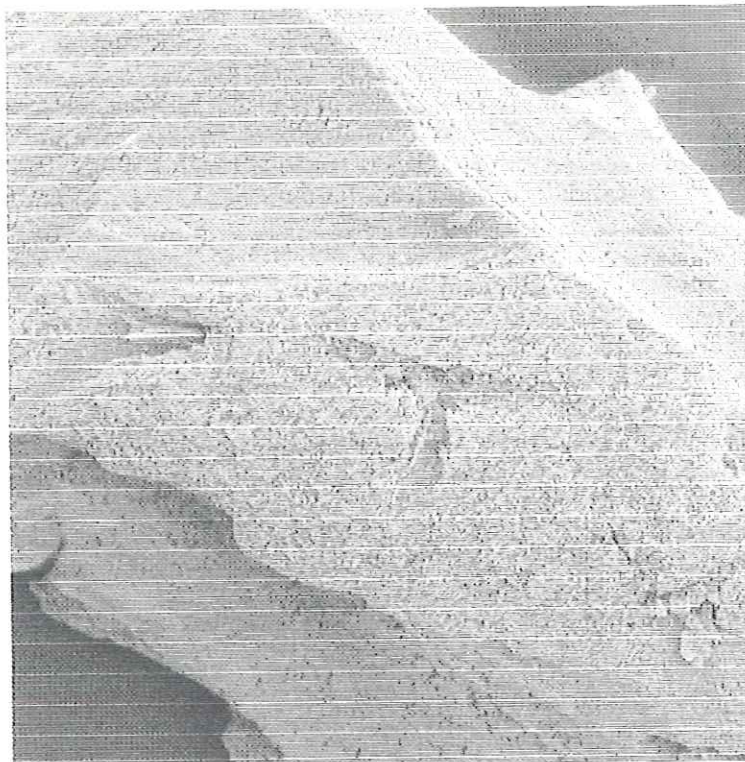


Figura D1 – Grão do Carvão Ativado Granular Ativado impregnado com Prata, sem contato com água. Aumento de 50x

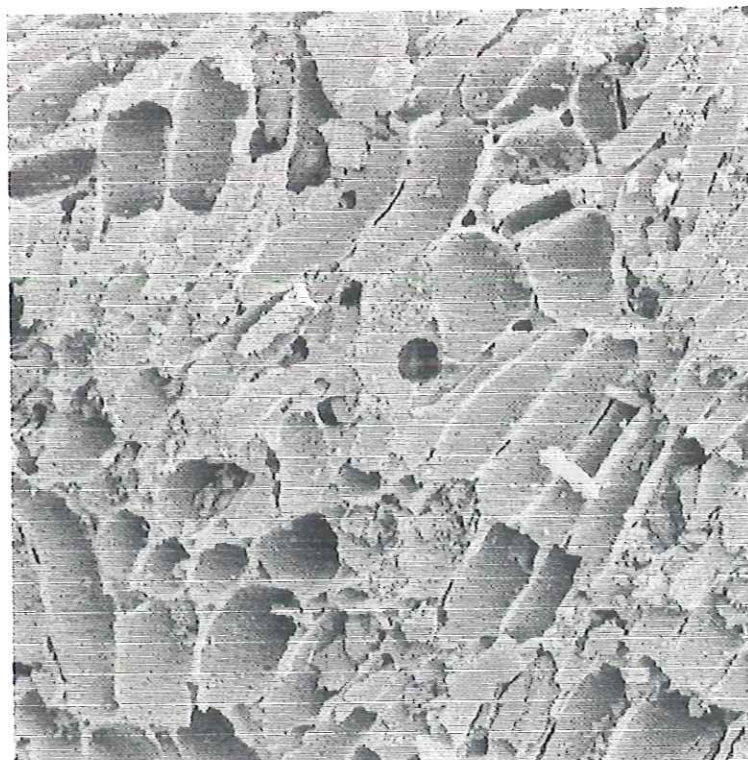


Figura D2 – Sítios de ativação do CAGIP, sem contato com água
Aumento de 500x

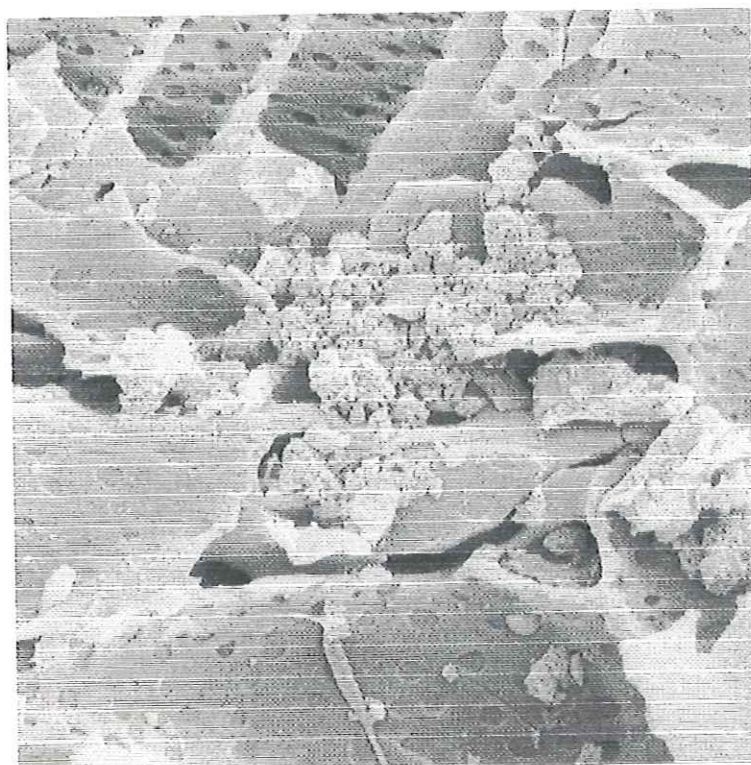


Figura D3 – Presença de sujeita decorrente do processo de moagem do CAGIP.
Aumento de 2.000 X

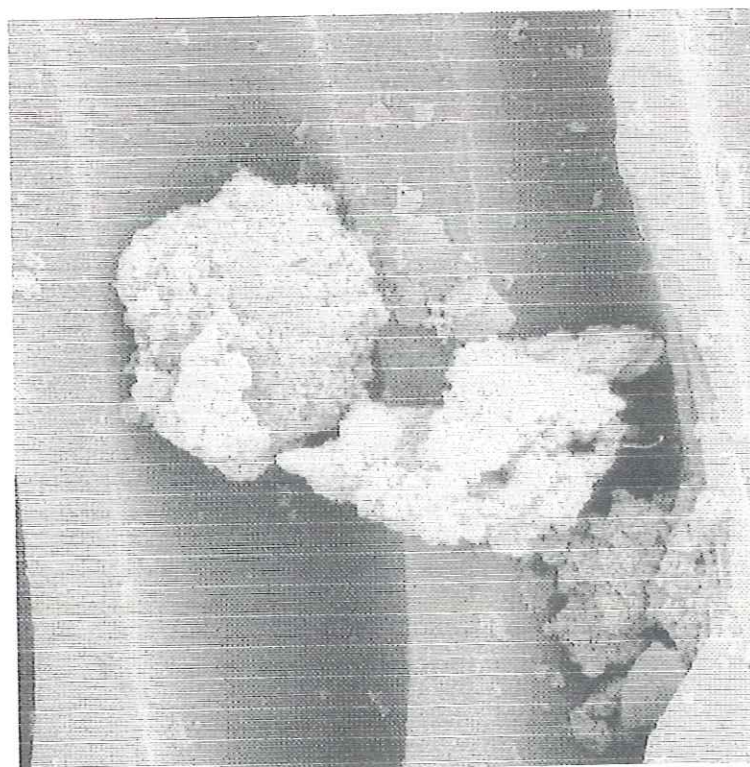


Figura D4 – Retenção de micro partículas em CAGIP, após contato com água tipo I
Aumento de 3.000 X

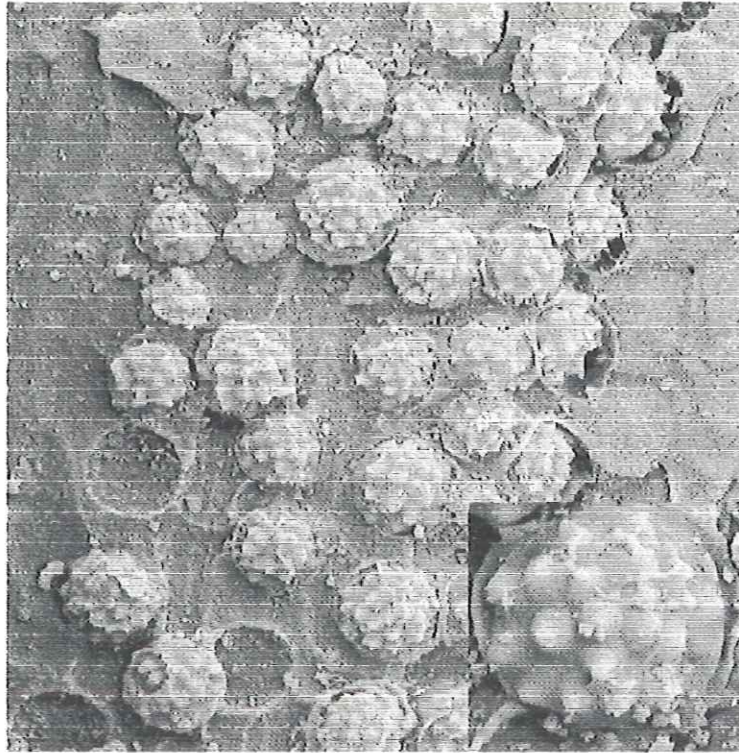


Figura D5 – Presença de silicatos no CAGIP
Aumento de 1.500 X

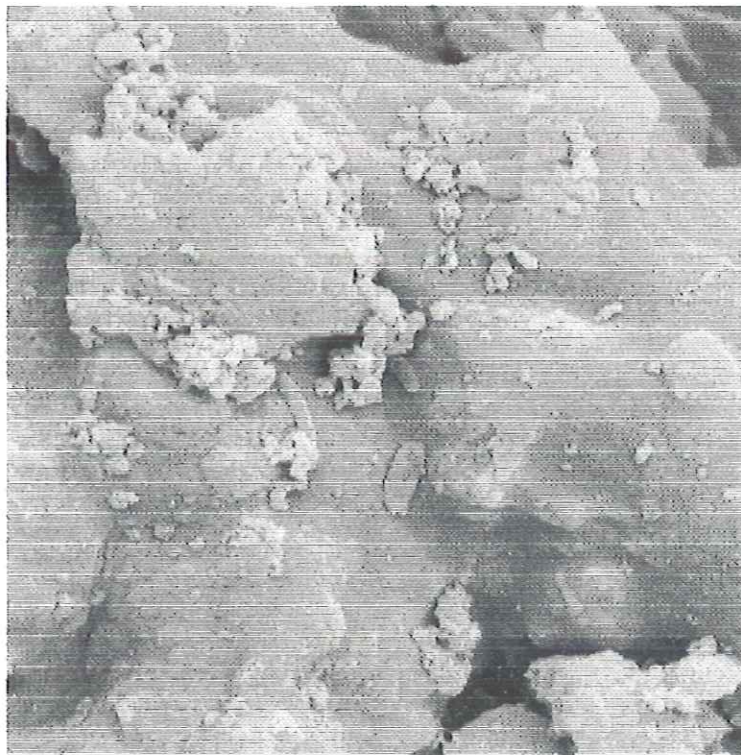


Figura D6 – Após contato com água Tipo II verificou-se a presença de
Bactérias de morfologia de bacilos.
Aumento de 5.000 X

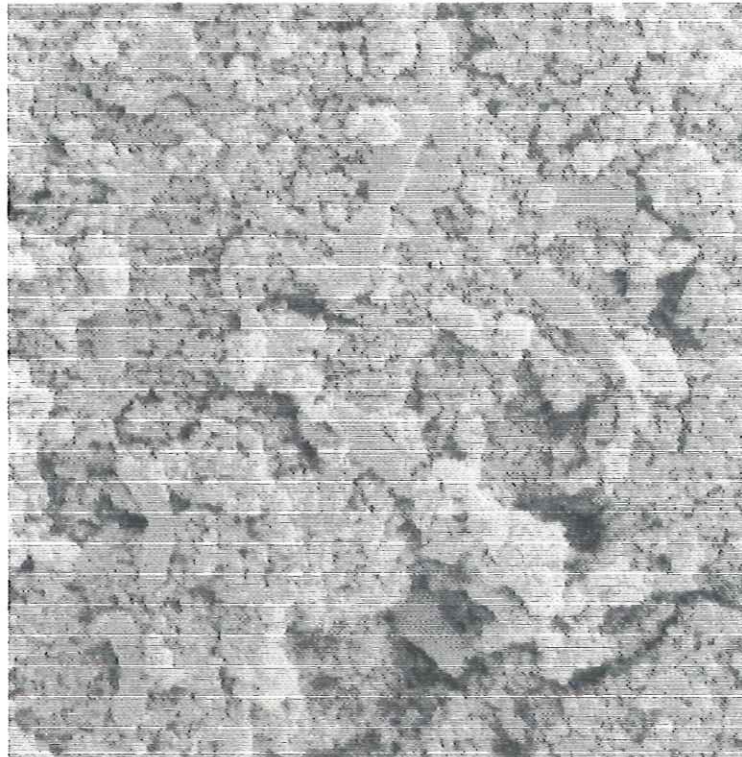


Figura D7 – Presença de microorganismos após contato com água Tipo II
Aumento 10.000 X

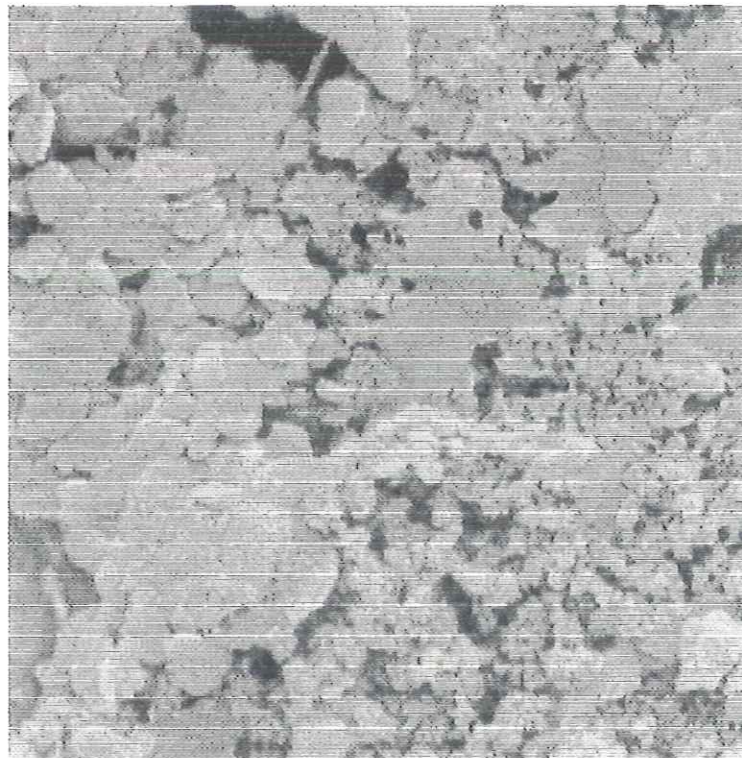


Figura D8 – Micropartículas aderidas ao CAGIP após contato
com água tipo II. Aumento 10.000X



Figura D9 – Carvão Ativado Granular Impregnado com Prata após contato com água tipo II. Aumento 500 X

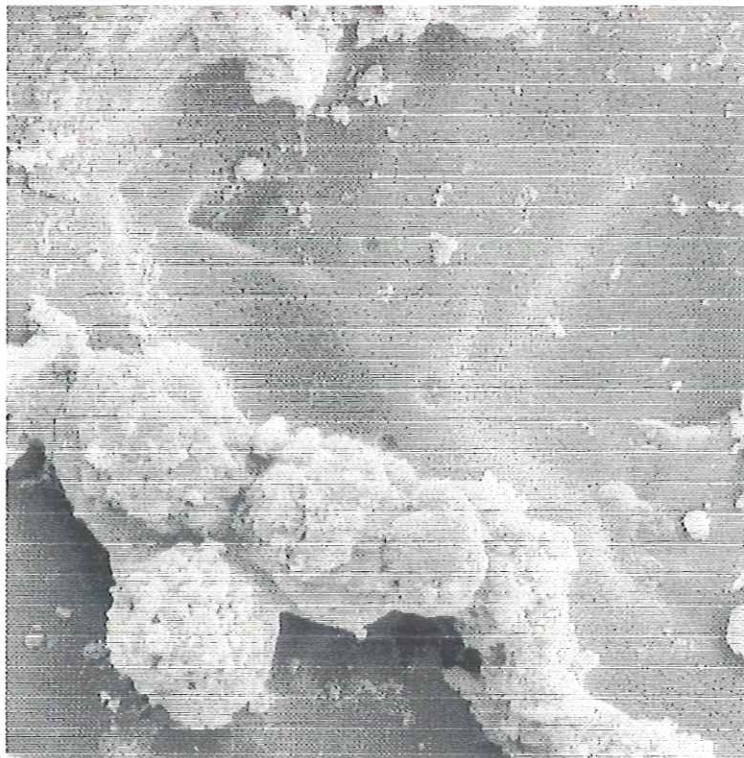


Figura D10 – Colmatação do CAGIP após contato com água tipo II. Aumento 1.000 X

7- Referências Bibliográficas

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRAS DE NORMAS TÉCNICAS (1989). NB-592 - *Projeto de Estação de Tratamento de Água para Abastecimento Público*. Rio de Janeiro, Brasil.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1990). MB-3410 - *Carvão Ativado Pulverizado - Determinação do Número de Iodo*. Rio de Janeiro, Brasil.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (1989) *Annual Books of ASTM STANDARDS*
- AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (1990) *Water Quality and Treatment - A Handbook of Community Water Supplies*. AWWA IV Ed., USA.
- AHMAD, R.; AMIRTHARAJAH, A. (1998) *Detachment of particles during biofilter backwashing*. Journal of AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION, pag 74-85, vol. 90, nº 12, December.
- ARAÚJO, J. C. (1995) *Caracterização e evolução do biofilme em reator aneróbio de leito fluidificado alimentado com esgoto sanitário sintético*. Dissertação (Mestrado) Escola de Engenharia de São Carlos, USP. 187p
- BRANCO, S.M. (1989) *Considerações sobre a Nova Legislação Brasileira de Águas*. Revista DAE, vol. 49, p:185-187, out-dez, Brasil
- BUTLER, J.A.V.; ORRENTE, C (1930) *Studies in electrocapillarity*. Part. II Journal of Physical Chemistry, num.34, pg.2841-2855.
- CAMP, T.R. *Applied Hydraulics Design of Treatment Plants Seminar papers on wastewater treatment and disposal* - Boston Society of Civil Engineers - Sanitary Section , pag 231-255, Boston, USA, abril, 1961.

- CH.Y.LI; Y.Z.WAN; J.WANG (1998) *Antibacterial Pitch-Based Activated Carbon Fiber Supporting Silver* Elsevier Science Ltda. Vol. 36 Num. 2, pp 61-65, Great Britain.
- CHRISTOVÃO, D.A (1965). *Bacteriologia da Água: Seu Exame e Controle Bacteriológico*. EPUSP, São Paulo, Brasil.
- CLARK, R.M.; LYKINS, B.W. (1991) *Granular Activated Carbon : Design, Operation and Cost* LEWIS PUBLISHERS. USA.
- DI BERNARDO, L. (1993) *Métodos e Técnicas de Tratamento de Água*. DI BERNARDO & ABES, Vol I, Rio de Janeiro, Brasil.
- DI BERNARDO,L; PÁDUA,V.L; RUIZ, C. B., PATERNIANI, J.E.S (1997) *Uso de Manta Sintética não Tecida em Tratamento de Água de Abastecimento*. Congresso Internacional de não Tecidos, São Paulo – Brasil.
- FAIR, G.M; GEYER, J.C.; OKUN, D.A (1968) *Water and Wastewater Engineering - Vol II: Water Purification and Wastewater Treatment and Disposal*. JOHN WILEY & SONS, Inc. ,USA
- FERREIRA FILHO, S.S. (1993) *Estudo comparativo do comportamento hidráulico de meios filtrantes de areia-antracito e areia-carvão ativado granular no tratamento de água*. Dissertação (Mestrado) Biblioteca da EPUSP São Paulo, Brasil. 407p
- FERREIRA FILHO, S.S. (1996) *Importância do Mecanismo de Transferência externa de massa em filtros-adsorvedores* Tese (Doutorado) Biblioteca da EPUSP São Paulo, Brasil. 413p
- GRAESE, S.L.; SNOEYINK, V.L.; LEE, R.G. (1987) *Granular actived carbon filter-adsorber systems*. Journal American Water Works Association, pag 64-73, December.
- GRAESE, S.L.; SNOEYINK, V.L.; LEE, R.G. (1987) *GAC filter-adsorber*. American Water Works Association, Research Foundation, Denver,USA
- HALSEY, G.; TAYLOR, H.S.J. (1947) *Chem. Phys.*, vol. 15, New York. USA.
- IVES, K.J. (1975) *Capture Mechanisms in Filtration – The Scientific Basis of Filtration*. NATO Advanced Study Institute Series- SERIES E – APLLIED SCIENCES, Holanda

- IVES, K.J. (1975) *Mathematical Models of Deep Bed Filtration – The Scientific Basis of Filtration*. NATO Advanced Study Institute Series- SERIES E – APPLIED SCIENCES, Holanda
- JAIN, J.S.; SNOEYINK, V.L. (1973) *Adsorption from bisolute systems on activated carbon*. Journal of Water Pollution Control Federation, pag 2463-2479, December.
- LANGMUIR, I. (1918) *The adsorption of gases on plane surface of glass, mica and platinum*. Journal of American Chemical Society, n.40, pag 1361-1403.
- LIMA ISAAC,R (1993) *Controle de Trihalometanos em Sistemas de Abastecimento de Água- Remoção pó Adsorção em Colunas de Carvão Ativado Granular em Estação de Tratamento de Água - Dissertação (Mestrado) Biblioteca da EPUSP São Paulo, Brasil.*
- LEE, M.C.; SNOEYINK, V.L.; CRITTENDEN, J.C.(1981) *Activated carbon adsorption of humic substances*. Journal American Water Works Association, pag 440-450, August.
- MBWETTE,T.S.A; GRAHAM,N.J.D (1990). *Performance of fabric protected slow sand filters treating lowland surface water*. Journal of the institution of water and environmental management. p.51-61, Feb.
- MINISTÉRIO DA SAÚDE (1990) Normas e Padrão de Potabilidade de Águas Destinadas ao Consumo Humano *Portaria n ° 36/GM* Jan., Brasília, Brasil.
- MINISTÉRIO DE DESENVOLVIMENTO URBANO E MEIO AMBIENTE (1996) *Classificação de Águas Doces, Salobras e Salina no Território Nacional Resolução n ° 20 do Conselho Nacional do Meio Ambiente* Jun., Brasília , Brasil.
- MENDONÇA, N.M.; GIANOTTI, E.P.; CAMPOS, J.R.; RODRIGUES PEREIRA, J.A. (1998) *Evolução da aderência de biofilmes em partículas de Poliamida, Polibutireno Teretraftalato e Carvão Ativado Granular*. AIDIS
- MOLINA, F.R.O. (1996). *Comparação do desemprego do carvão antracitoso e carvão betuminoso como materiais filtrantes em filtros de dupla camada*. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, USP. 289p
- MONTGOMERY, J.M. (1985) - CONSULTING ENGINEERS Inc. Water Treatment - Principles, and Design, John Wiley & Sons. USA

- MONTGOMERY, J. (1985) *Water Treatment: Principles and Design* John Wiley & Sons. New York, USA.
- OHLWEILER, O. A. (1971) *Química Inorgânica*. Editora Blücher Ltda. Vol. 1, 427p. São Paulo, Brasil.
- O'MELIA, C.R.; CRAPPS, D.K. (1964) *Some Chemical Aspects for Rapid Sand Filtration*. Journal of American Water Works Association, nº 6, Junho, p.1326 – 1344.
- O'MELIA, C.R.; STUMM, M. (1967) *Theory of Water Filtration*, Journal of American Water Works Association, vol 59, nº11, Novembro, p. 1393.
- PÁDUA, V.L. (1999) *Investigação experimental visando o emprego de mantas sintéticas não tecidas na filtração de suspensões flocculentas no tratamento de água*. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, USP. 291p
- PÁDUA, V.L.; DI BERNARDO, L. (1997) *Emprego de mantas sintéticas nos estudos de tratabilidade de água quimicamente coagulada*. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Foz de Iguaçu, p. 1461-1472.
- PATERNIANI, J.E.S. (1991) *Utilização de mantas sintéticas não tecidas na filtração lenta em areia de águas de abastecimento*. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, USP. 245p
- PECCI FILHO, R. (1998) *Utilização da ozonização e de carvão ativado em pó seguidos da flotação para pré-tratamento de águas de abastecimento*. AIDIS
- PROCESS DESIGN MANUAL FOR CARBON ADSORPTION (1973) U.S. Environmental Protection Agency – Technology Transfer, October
- RUIZ BOJORGE, C. (1996) *Utilização de mantas sintéticas não tecidas na pré-filtração de águas de abastecimento* Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, USP. 171p
- SNOEYINK, V.L. (1990) *Adsorption of organic compounds*. Water Quality and Treatment. McGraw-Hill, New York.
- SONTHEIMER, H.; CRITTENDEN, J.C.; SUMMERS, R.S. (1988) *Activated Carbon for Water Treatment*. DVGW Forschungsstelle Engler-Bunte-Institut Universität Karlsruhe.

- SOUZA, A. N.; PECCI FILHO, R.; DI BERNARDO, L. (1997) *Emprego de carvão ativado impregnado com prata para pré-tratamento de águas de abastecimento*. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Foz de Iguaçu, Brasil.
- SUFFET, I.H.; McGUIRE, M.J. (1980) *Activated carbon adsorption of organics from the aqueous phase*. Vol.1, Ann Arbor Science, Ann Arbor, Michigan, 1980.
- SYMONS, J.M. (1972) *Removal of Organic Contaminants from Drinking Water Using Techniques other than Granular Activated Carbon Alone - A Progress Report*, Drinking Water Research Division, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio, May.
- THAECKER, W.E.; SNOEYINK, V.L.; CRITTENDEN, J.C. (1983) *Desorption of Organic Compounds during Operation of GAC Adsorption Systems* Journal AWWA, vol. 75, no. 3.
- WEBER, W.J. (1984) *Evolution of a Technology*, Journal of the Environmental Engineering Division, pag 899-917, October.
- WEBER, W.J. (1972) *Physicochemical Processes*. Wiley-Interscience, USA.
- WIECHETECK, G.K. (1996) *Influência do método de lavagem nas características de carvões antracitoso e betuminoso utilizado em meio filtrante*. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, USP. 169p
- VOUDRIAS, E.A.; SNOEYINK, V.L.; LARSON, R.A. (1986) *Desorption of organics formed on activated carbon*. Journal of the American Water Works Association, v.78, n.2, p.8.2, feb. 1986

APÊNDICE

Programa Biblioteca Eletrônica



O Programa Biblioteca Eletrônica – ProBE reúne em consórcio a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP, a Universidade de São Paulo – USP, a Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" – UNESP, a Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, a Universidade Federal de São Carlos – UFSCar, a Universidade Federal de São Paulo – UNIFESP e o Centro Latino-Americano e do Caribe de Informação em Ciências da Saúde – BIREME/OPS/OMS.

O ProBE foi lançado em maio de 1999 e oferece para a comunidade científica, acadêmica e administrativa das instituições consorciadas a consulta ágil e atualizada, por meio eletrônico, a textos completos de revistas científicas internacionais através da Rede ANSP – Academic Network at São Paulo.

Nessa primeira fase do programa, estão disponíveis os textos dos artigos de 606 periódicos internacionais da editora holandesa Elsevier Science Inc. Serão acrescentados, gradativamente, títulos de periódicos de outras editoras, ampliando o material ora disponível.

O acesso ao texto eletrônico inclui vantagem sobre as consultas aos textos impressos, pois permite a consulta simultânea por diversos pesquisadores, racionalizando o uso das coleções e otimizando recursos.

O acesso eletrônico está disponível para cerca de 12 mil professores e pesquisadores e 115 mil alunos de graduação e pós-graduação a partir de equipamentos instalados em seu próprio ambiente de trabalho e nas 86 bibliotecas das instituições envolvidas.

A participação da FAPESP neste programa consolidou o resultado da ação cooperativa entre os integrantes do consórcio. A Fundação é a responsável pela infraestrutura de hardware e software adequados à instalação e ao funcionamento da biblioteca eletrônica, bem como pela própria base de dados das revistas.

O ProBE é mais uma iniciativa da FAPESP no sentido de expandir e enriquecer os serviços e recursos de informação especializada indispensáveis às atividades da comunidade científica do Estado de São Paulo.

Com esse mesmo propósito, a FAPESP implantou anteriormente:

- projeto SciELO, em parceria com a BIREME – base de dados eletrônica de revistas científicas brasileiras, desde 1997;
- acesso ao Web of Science, do Institute for Scientific Information (ISI), EUA – base de dados com resumos, referências e citações de artigos publicados em cerca de 8.400 periódicos científicos internacionais, desde 1974.



A Elsevier Science está oferecendo acesso à FAPESP, USP, UNESP, UNICAMP, USFCar, UNIFESP e BIREME à sua solução remota, o ScienceDirect®, durante o período de implementação do ProBE.

Neste momento, o acesso remoto ao Science Direct, além do texto completo dos 606 títulos de revistas científicas, oferece ainda resumos de outros títulos contidos naquela Base. Os títulos constantes do ProBE estão sinalizados por ícones iluminados, a partir da tela de busca pela opção "Journals".

Para início da pesquisa, o usuário deve fazer a opção "group-wide login", na primeira tela do ScienceDirect.

Assim que a implementação for concluída, os usuários do ProBE terão acesso ao ScienceDirect OnSite®, versão local do ScienceDirect®, a qual traz como benefícios: melhor desempenho, tecnologia SDI (Selective Dissemination of Information) e integração com os bancos de dados de periódicos locais.

Logo, ao ser concluída essa transição, o usuário sentirá mudanças na interface com a informação de seu interesse.

Não é permitido, direta ou indiretamente, sob qualquer forma, o uso dos Materiais Licenciados, tendo em vista: a reprodução substancial ou sistemática; redistribuição, revenda ou sublicenciamento; fornecimento ou distribuição a Usuários não Autorizados. Ainda, está proibida a sua modificação ou tradução de forma a infringir o direito autoral e outros direitos patenteados.