

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO
DEPARTAMENTO DE SANEAMENTO E AMBIENTE.

**DESINFECÇÃO DE EFLUENTES SANITÁRIOS POR
CLORAÇÃO VISANDO O USO NA AGRICULTURA**

Daniele Tonon

Campinas

2007

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO
DEPARTAMENTO DE SANEAMENTO E AMBIENTE.

**DESINFECÇÃO DE EFLUENTES SANITÁRIOS POR
CLORAÇÃO VISANDO O USO NA AGRICULTURA**

Autora: Daniele Tonon

Orientador: Bruno Coraucci Filho

Dissertação de Mestrado apresentada à Comissão de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas, como parte dos requisitos para obtenção do título de mestre em Engenharia Civil, na Área de Concentração de Saneamento e Ambiente.

Campinas, São Paulo

2007

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

T614d Tonon, Daniele
Desinfecção de efluentes sanitários por cloração
visando o uso na agricultura / Daniele Tonon.--
Campinas, SP: [s.n.], 2007.

Orientador: Bruno Coraucci Filho
Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de
Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e
Urbanismo.

1. Desinfecção e desinfetantes. 2. Esgotos -
Resíduos. 3. Esgoto - Saneamento. 4. Água -
Reutilização. 5. Águas residuais. I. Coraucci Filho,
Bruno. II. Universidade Estadual de Campinas.
Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e
Urbanismo. III. Título.

Titulo em Inglês: Chlorine disinfection of sanitary effluents aiming
agricultural use

Palavras-chave em Inglês: Disinfection, Hypochlorite of calcium, Reuse,
Ditches of filtration, Anaerobic effluent

Área de concentração: Saneamento e Ambiente

Titulação: Mestre em Engenharia Civil

Banca examinadora: Tsunao Matsumoto e Pedro Sérgio Fadini

Data da defesa: 15/03/2007

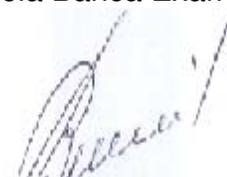
Programa de Pós-Graduação: Engenharia Civil

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO
DEPARTAMENTO DE SANEAMENTO E AMBIENTE.

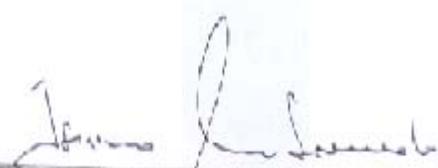
**DESINFECÇÃO DE EFLUENTES SANITÁRIOS POR
CLORAÇÃO VISANDO O USO NA AGRICULTURA**

Daniele Tonon

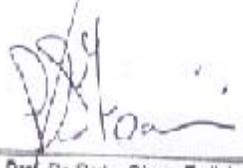
Dissertação de Mestrado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:



Prof. Dr. Erino Coraucci Filho
Presidente e Orientador - Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP



Prof. Dr. Tsunao Matsumoto
Universidade Estadual Paulista - Unesp - Campus - Ilha Solteira



Prof. Dr. Pedro Sérgio Fadini
Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP

Campinas, 15 de março de 2007

DEDICATÓRIA

À minha mãe e meu pai, Izaura e Vilmo. Por todo o carinho, atenção e por acreditarem no meu potencial. Aos meus irmãos, Edmar e Michelle, essenciais em
minha vida!
Com amor.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que de uma forma acreditaram na realização desse trabalho e em especial:

O meu sincero agradecimento ao meu orientador e amigo Prof. Dr. Bruno Coraucci Filho, por todo apoio e confiança, pela orientação e as conversas prazerosas. Ao Dr. Ronaldo Stefanutti por apoio didático, pelas grandes e sábias “sacadas”. A Dr. Edna Bertoncini por estar presente nos momentos em que as dúvidas eram enormes.

Agradeço também aos professores do departamento de Saneamento e Ambiente: prof. Edson Abdul Nour, Roberto Feijó de Figueiredo, José Roberto Guimarães, Eglé Novais Teixeira e em especial, ao prof. Carlos Gomes Mendes da Nave pelo empréstimo do equipamento para ensaios de JAR TEST e autorização no uso do Laboratório de protótipos.

Aos professores que participaram da banca de qualificação e da defesa: prof. Dr. Pedro Sérgio Fadini, prof. Dr. José Euclides Stipp Paterniani e Dr. Ronaldo Stefanutti e prof. Dr. Tsunao Matsumoto. Tenho certeza que este trabalho foi muito bem orientado por vocês e suas recomendações essenciais.

Aos técnicos do laboratório de Saneamento e Ambiente da FEC - Enelton Fagnani, Lígia Domingues e Marco Aurélio Gattamorta e do laboratório de Protótipos Mary Andrezza Marques por toda a atenção e pelas incassáveis explicações. A secretaria de pós-graduação, em especial à Paula e Noemia pela força.

Ao colega e amigo Oder Luiz de Sousa Júnior por todo o apoio e por toda a caminhada. Enfim, conseguimos juntos realizar mais um sonho. A colega Verônica C. Magalhães por todas as análises realizadas, sem você nunca conseguiria alcançar o mundo dos microrganismos.

Aos amigos e companheiros de trabalho: Israel Sérgio de Oliveira Júnior, Regiane Ap. Guadagnini, Paula Regina Coeli Barbosa Senna, Cíntia Elena Nicolau, Roberto Ângelo de Oliveira. Sem vocês com certeza este trabalho não teria sido concluído.

Agradeço também pela amizade aos amigos que conquistei e tenho certeza que o tempo não apagará: Milma, Ariston, Martina, Bruna Fernanda, Mara, Sebastião, Renata, Vanessa, Adriano Tonetti e Alexandre Kanegae, Carolina Farah. Em especial, à Doralice Meloni Assirati por estar sempre na hora certa e em momentos cruciais do meu trabalho e à Marco A. Gattamorta que provou que ciência e amizade podem caminhar juntos, mostrou-se essencial e indispensável para a compreensão de mundos tão distantes. Meu muito obrigada a todos.

Meus sinceros agradecimentos para Maurílio José Barbosa Soares do Departamento de Estatística do Instituto de Matemática, Estatística e Computação Científica (IMECC) da Unicamp pelo belo trabalho de estatística que sem sombra de dúvidas foi essencial.

Agradecimentos especiais ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico em especial ao Edital CT - Hidro pelo apoio através da concessão da bolsa do mestrado.

À SABESP, Franca - SP, em especial aos funcionários Luciano, Márcia e Orlando Cintra, pelas coletas de esgoto e a equipe da ETE – Franca pela hospitalidade, em especial, Pedro Belli.

A Sociedade de Abastecimento de Água e Saneamento SANASA S.A, por permitir a realização desta pesquisa, através da disponibilidade em conceder o efluente para a pesquisa com as valas de filtração.

A prefeitura municipal de São João da Boa Vista – SP e seu departamento de saúde por dar todo o apoio e transporte até Campinas, em especial ao prefeito Nelson Mancini Nicolau.

Agradeço a minha família, pois, acredito que sem ela nunca poderia vencer mais esta etapa da vida. Aos meus pais, Vilmo Tonon e Izaura de Lucas Tonon, por todo o apoio de sempre, da luta de todos nós nas madrugadas. Não saberia expressar em poucas linhas a gratidão e o amor que sinto por vocês. Minha madrinha Elza e padrinho Delvo que mesmo de longe deve ter ficado orgulhoso por mais esta conquista. Amo vocês.

Agradeço também aos meus irmãos Michelle e Edmar Tonon que acreditaram no meu potencial que sonharam junto comigo pela chegada deste momento. Aos meus sobrinhos Luís Otávio e Maria Luísa que me alegraram em momentos onde o cansaço era enorme e me deram força para continuar.

Ao meu namorado, Gustavo, companheiro e incentivador, pelos finais de semana perdidos e que em breve serão lembrados com muita saudade.

A todos meu muito obrigada!

“Veni vidi vici” – Vim, vi, venci

Júlio César (general e cônsul romano)

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	xvii
LISTA DE TABELAS	xxvi
LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS.....	xxxii
RESUMO.....	xxxv
ABSTRACT	xxxvi
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS	5
2.1 Objetivo Geral	5
2.2 Objetivos Específicos	6
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	7
3.1 Distribuição da Água no planeta Terra	7
3.2 Usos da Água.....	8
3.3 Considerações sobre o uso de esgotos doméstico na agricultura... ..	10
3.3.1 Padrões de emissão de efluentes no Brasil	10
3.3.2 Parâmetro para reúso de efluentes tratados	12
3.4 Doenças associadas à água	14
3.5 Principais doenças de veiculação hídrica.....	14

3.6	Microrganismos presentes nos esgotos domésticos	17
3.6.1	Agentes patogênicos	18
3.6.2	Organismos indicadores	21
3.7.	Considerações gerais:	23
3.7.1	Desinfecção	23
3.7.2	Histórico da desinfecção	24
3.7.3	Métodos de desinfecção	24
3.7.4	Evolução da técnica de desinfecção utilizando o método de cloração	25
3.8	Cloro e seus derivados	26
3.8.1	Cloro gás	27
3.8.2	Hipocloritos	27
3.8.3	Dióxido de cloro.....	28
3.8.4	Cloro Combinado	29
3.9	Ação desinfetante do cloro	31
3.10	Ação oxidante do cloro	33
3.11	Comparação entre algumas técnicas de desinfecção	34
3.12	Parâmetros de processo	35
3.12.1	Dosagens de cloro requeridas.....	35
3.12.2	Tempo de Contato.....	37
3.12.3	Inativação de patógenos	37
3.13	Cinética da desinfecção - Modelo de Selleck - Collins	38
3.14	Toxicidade de residual de cloro	39
3.15	Formação de Subprodutos potencialmente prejudiciais à saúde humana ..	40
3.15.1	Definição do composto denominado trialometanos.....	41
3.15.2	Trialometano - Histórico	41
3.15.3	Reações de formação dos trialometanos.....	42
3.15.4	Níveis permissíveis de trialometanos	42
3.15.5	Causa de doenças	43

3.15.6 Doenças causadas pela exposição aos trihalometanos	43
3.16 Descloração	44
3.17 Aspectos relativos à operação e à manutenção de sistemas utilizando cloração como método de desinfecção	45
3.18 Custos para implantação da cloração	47
4 MATERIAL E MÉTODOS	51
4.1 Efluentes desinfetados	52
4.2 Arranjo Experimental	58
4.2.1 Desinfecção	58
4.2.2 Dosagens de hipoclorito de cálcio aplicadas	59
4.2.3 Planejamento experimental dos ensaios de desinfecção	60
4.2.4 Coleta de amostras	63
4.2.5 Descloração	64
4.3 Características microbiológicas	65
4.3.1 Coliformes totais e <i>Escherichia coli</i>	65
4.3.1.1 Método do substrato cromogênico definido	65
4.3.1.2 Método dos tubos múltiplos	66
4.3.2 Cistos e oocistos de protozoários e ovos de helmintos	67
4.4 Características físicas e químicas	68
4.4.1 Cloro residual	68
4.4.1.1 Cloro residual livre	68
4.4.1.2 Cloro residual total	69
4.4.1.3 Cloro residual combinado	69
4.4.2 pH	69
4.4.3 Condutividade	70
4.4.4 Turbidez	70
4.4.5 Alcalinidade	71
4.4.6 Cor	72

4.4.7 Série de nitrogênio	72
4.4.8 Demanda química de oxigênio (DQO)	74
4.4.9 Fósforo total	74
4.4.10 Oxigênio dissolvido	75
4.4.11 Sólidos totais e sólidos suspensos	76
4.5 Análise estatística dos resultados	77
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	79
5.1 Lagoa anaeróbia	79
5.1.1 Cloro residual	82
5.1.2 pH.....	86
5.1.3 Temperatura.....	88
5.1.4 Condutividade	89
5.1.5 Turbidez	91
5.1.6 Alcalinidade	93
5.1.7 Cor	96
5.1.8 Série de nitrogênio	98
5.1.9 Demanda química de oxigênio (DQO)	103
5.1.10 Fósforo Total	106
5.1.11 Sólidos totais	109
5.1.12 Sólidos suspensos	112
5.1.13 Oxigênio dissolvido	116
5.1.14 Coliformes - <i>E. coli</i> e totais.....	117
5.1.15 Helmintos e protozoários.....	119
5.1.16 Verificação dos resultados da lagoa anaeróbia realizando os testes de desinfecção no efluente diretamente na cidade de Franca - SP	124
5.1.16.1 Cloro residual total.....	124
5.1.16.2 pH.....	125
5.1.16.3 Temperatura.....	126

5.1.16.4 Condutividade	126
5.1.16.5 Turbidez	127
5.1.16.6 Oxigênio dissolvido (OD).....	127
5.1.16.7 Demanda química de oxigênio (DQO _b)	128
5.1.16.8 Coliformes - <i>E. coli</i> e coliformes totais.....	128
5.1.16.8.1 <i>E. coli</i>	128
5.1.16.8.2 Coliformes totais.....	129
5.1.16.9 Descloração	130
5.2 Valas de filtração.....	131
5.2.1 Cloro residual	133
5.2.1.1 Cloro residual livre.....	133
5.2.1.2 Cloro residual combinado.....	137
5.2.1.3 Cloro residual total.....	140
5.2.2 pH.....	145
5.2.3 Temperatura.....	150
5.2.4 Condutividade	150
5.2.5 Turbidez	155
5.2.6 Alcalinidade	159
5.2.6.1 Alcalinidade parcial.....	159
5.2.6.2 Alcalinidade total	163
5.2.7 Cor	166
5.2.7.1 Cor aparente	167
5.2.7.2 Cor verdadeira.....	170
5.2.8 Série de nitrogênio	175
5.2.8.1 Nitrato.....	175
5.2.8.2 Nitrito	179
5.2.8.3 Nitrogênio amoniacal.....	182
5.2.8.4 Nitrogênio orgânico	185

5.2.9 Demanda química de oxigênio (DQO bruta)	189
5.2.10 Oxigênio dissolvido (OD).....	193
5.2.11 Fósforo total	197
5.2.12 Sólidos totais, fixos e voláteis.....	202
5.2.12.1 Sólidos totais	202
5.2.12.2 Sólidos totais fixos.....	206
5.2.12.3 Sólidos totais voláteis	209
5.2.13 Sólidos em suspensão	212
5.2.13.1 Sólidos suspensos totais	213
5.2.13.2 Sólidos suspensos fixos	216
5.2.13.3 Sólidos suspensos voláteis	219
5.2.14 Coliformes - <i>E. coli</i> e totais.....	222
5.2.14.1 <i>E. coli</i>	223
5.2.14.2 Coliformes totais.....	225
5.2.15 Helmintos e protozoários.....	230
5.3 Relação das dosagens e os tempos de contato no efluente da lagoa anaeróbia	231
5.4 Relação das dosagens, tempos de contato, taxas hidráulicas e altura da camada de areia nas valas de filtração	234
6 CONCLUSÕES	237
7 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	241
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	243

LISTA DE FIGURAS

3.1 Disponibilidade hídrica mundial em 2000 (1000m ³ /capita/ano)	8
3.2 Superfície irrigada e a extração de água no mundo	9
3.3 Relação entre a cobertura por redes de distribuição de água e a mortalidade infantil em alguns países da América	16
3.4 Relação entre os índices de mortalidade infantil e de cobertura por redes de esgotos em alguns estados brasileiros	17
3.5 Curva de ação do cloro residual em águas com presença de amônia.	30
3.6 Aspectos químicos do cloro em meio aquoso	32
4.1 Vista geral da lagoa anaeróbia – Paulistano II	54
4.2 Vista geral da Estação de tratamento de Esgotos – Jardim Icaraí	55
4.3. Detalhe da caixa de distribuição de esgoto da ETE Icaraí	56
4.4 Vista da caixa de acrílico e os tubos de drenagem (PEAD)	56
4.5 Valas de filtração em secção transversal	57
4.6 Valas de filtração e suas respectivas alturas 0,75; 0,50 e 0,25 m de areia ...	57
4.7 Ilustração da desinfecção utilizando o equipamento para ensaio de JAR TEST.	58

5.1 Variação da concentração de cloro residual livre (mg L^{-1}) versus dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L^{-1})	82
5.2 Variação da concentração de cloro residual combinado (mg L^{-1}) versus dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L^{-1}).....	82
5.3 Variação da concentração de cloro residual total (mg L^{-1}) versus dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L^{-1})	83
5.4 Variação do pH versus dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L^{-1}).....	86
5.5 Variação da condutividade ($\mu\text{S cm}^{-1}$) versus dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L^{-1}).....	89
5.6 Variação da turbidez (UNT) versus dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L^{-1})... ..	91
5.7 Variação da alcalinidade parcial ($\text{mg CaCO}_3 \text{L}^{-1}$) versus dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L^{-1}).....	94
5.8 Variação da alcalinidade total ($\text{mg CaCO}_3 \text{L}^{-1}$) versus dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L^{-1}).....	94
5.9 Variação da cor aparente (mg Pt L^{-1}) versus dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L^{-1}).....	96
5.10 Variação da cor verdadeira (mg Pt L^{-1}) versus dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L^{-1}).....	96
5.11 Variação da concentração de nitrato (mg L^{-1}) versus dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L^{-1}).....	99
5.12 Variação da concentração de nitrito (mg L^{-1}) versus dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L^{-1}).....	99
5.13 Variação da concentração de nitrogênio amoniacal (mg L^{-1}) versus dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L^{-1})	99
5.14 Variação da concentração de nitrogênio orgânico (mg L^{-1}) versus dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L^{-1})	100

5.15 Variação da DQO _b (mg O ₂ L ⁻¹) versus dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L ⁻¹).....	103
5.16 Variação da DQO _f (mg O ₂ L ⁻¹) versus dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L ⁻¹).....	104
5.17 Variação de fósforo total (mg L ⁻¹) versus dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L ⁻¹).....	107
5.18 Variação de sólidos totais (mg L ⁻¹) versus dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L ⁻¹).....	109
5.19 Variação de sólidos totais fixos (mg L ⁻¹) versus dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L ⁻¹).....	110
5.20 Variação de sólidos totais voláteis (mg L ⁻¹) versus dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L ⁻¹).....	110
5.21 Variação de sólidos suspensos totais (mg L ⁻¹) versus dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L ⁻¹).....	112
5.22 Variação de sólidos suspensos fixos (mg L ⁻¹) versus dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L ⁻¹).....	113
5.23 Variação de sólidos suspensos voláteis (mg L ⁻¹) versus dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L ⁻¹)	113
5.24 Variação do oxigênio dissolvido (mg O ₂ L ⁻¹) versus dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L ⁻¹).....	116
5.25 Variação do Log da concentração de <i>E. coli</i> (NMP 100 mL ⁻¹) versus dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L ⁻¹)	117
5.26 Variação da concentração de Coliformes Totais (NMP 100 mL ⁻¹) versus dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L ⁻¹).....	117
5.27 Variação da concentração de cistos de <i>Entamoeba. coli</i> em 1000 mL ⁻¹ versus dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L ⁻¹).....	120
5.28 Variação da concentração de ovos de <i>Ancilostomatídeos</i> em 1000 mL ⁻¹ versus dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L ⁻¹)	120

5.29	Variação da concentração de larvas de <i>nematóides</i> em 1000 mL ⁻¹ versus dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L ⁻¹).....	120
5.30	Concentração de cloro residual livre para a vala 0,25m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L ⁻¹)	134
5.31	Concentração de cloro residual livre para a vala 0,50m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L ⁻¹)	135
5.32	Concentração de cloro residual livre para a vala 0,75m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L ⁻¹)	136
5.33	Concentração de cloro residual combinado para a vala 0,25 m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L ⁻¹)	138
5.34	Concentração de cloro residual combinado para a vala 0,50m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L ⁻¹)	139
5.35	Concentração de cloro residual combinado para a vala 0,75m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L ⁻¹)	140
5.36	Concentração de cloro residual total para a vala 0,25m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L ⁻¹)	141
5.37	Concentração de cloro residual total para a vala 0,50m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L ⁻¹)	142
5.38	Concentração de cloro residual total para a vala 0,75m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L ⁻¹)	143
5.39	Variação do pH para a vala 0,25m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L ⁻¹).....	146
5.40	Variação do pH para a vala 0,50m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L ⁻¹).....	147
5.41	Variação do para a vala 0,75m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L ⁻¹).....	148
5.42	Condutividade para a vala 0,25m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L ⁻¹).....	151

5.43 Condutividade para a vala 0,50m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L^{-1}).....	152
5.44 Condutividade para a vala 0,75m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L^{-1}).....	153
5.45 Turbidez para a vala 0,25m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L^{-1})	155
5.46 Turbidez para a vala 0,50m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L^{-1})	156
5.47 Turbidez para a vala 0,75m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L^{-1})	157
5.48 Alcalinidade parcial para a vala 0,25m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L^{-1}).....	160
5.49 Alcalinidade parcial para a vala 0,50m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L^{-1}).....	161
5.50 Alcalinidade parcial para a vala 0,75m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L^{-1}).....	162
5.51 Alcalinidade total para a vala 0,25m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L^{-1}).....	163
5.52 Alcalinidade total para a vala 0,50m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L^{-1}).....	164
5.53 Alcalinidade total para a vala 0,75m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L^{-1}).....	165
5.54 Cor aparente para a vala 0,25m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L^{-1}).....	167
5.55 Cor aparente para a vala 0,50m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L^{-1}).....	168
5.56 Cor aparente para a vala 0,75m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L^{-1}).....	169

5.57 Cor verdadeira para a vala 0,25m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L^{-1}).....	170
5.58 Cor verdadeira a vala 0,50m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L^{-1}).....	171
5.59 Cor verdadeira para a vala 0,75m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L^{-1}).....	172
5.60 Verificação da cor dos esgotos brutos , afluentes e efluentes das valas de filtração, na 10 ^o semana de aplicação	173
5.61 Esgotos brutos: Afluentes e efluentes das valas de filtração na 22 ^o semana de aplicação em vista superior e lateral	173
5.62 Concentração de nitrato para a vala 0,25m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L^{-1})	176
5.63 Concentração de nitrato para a vala 0,50m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L^{-1})	177
5.64 Concentração de nitrato para a vala 0,75m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L^{-1})	178
5.65 Concentração de nitrito ara a vala 0,25m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L^{-1})	179
5.66 Concentração de nitrito para a vala 0,50m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L^{-1})	180
5.67 Concentração de nitrito para a vala 0,75m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L^{-1})	181
5.68 Concentração de nitrogênio amoniacal para a vala 0,25m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L^{-1})	182
5.69 Concentração de nitrogênio amoniacal para a vala 0,50m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L^{-1})	183
5.70 Concentração de nitrogênio amoniacal para a vala 0,75m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L^{-1})	184

5.71	Concentração de nitrogênio orgânico para a vala 0,25m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L^{-1})	185
5.72	Concentração de nitrogênio orgânico para a vala 0,50m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L^{-1})	186
5.73	Concentração de nitrogênio orgânico para a vala 0,75m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L^{-1})	187
5.74	Variação da DQO bruta para a vala 0,25m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L^{-1})	190
5.75	Variação da DQO bruta para a vala 0,50m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L^{-1})	191
5.76	Variação da DQO bruta para a vala 0,75m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L^{-1})	192
5.77	OD para a vala 0,25m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L^{-1})	194
5.78	OD para a vala 0,50m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L^{-1})	195
5.79	OD para a vala 0,75m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L^{-1})	196
5.80	Fósforo total para a vala 0,25m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L^{-1})	198
5.81	Fósforo total para a vala 0,50m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L^{-1})	199
5.82	Fósforo total para a vala 0,75m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L^{-1})	200
5.83	Sólidos totais para a vala 0,25m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L^{-1})	203
5.84	Sólidos totais para a vala 0,50m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L^{-1})	204

5.85 Sólidos totais para a vala 0,75m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L^{-1}).....	205
5.86 Sólidos totais fixos para a vala 0,25m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L^{-1}).....	206
5.87 Sólidos totais fixos para a vala 0,50m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L^{-1}).....	207
5.88 Sólidos totais fixos para a vala 0,75m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L^{-1}).....	208
5.89 Sólidos totais voláteis para a vala 0,25m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L^{-1}).....	209
5.90 Sólidos totais voláteis para a vala 0,50m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L^{-1}).....	210
5.91 Sólidos totais voláteis para a vala 0,75m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L^{-1}).....	211
5.92 Sólidos suspensos totais para a vala 0,25m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L^{-1}).....	213
5.93 Sólidos suspensos totais para a vala 0,50m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L^{-1}).....	214
5.94 Sólidos suspensos totais para a vala 0,75m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L^{-1}).....	215
5.95 Sólidos suspensos fixos para a vala 0,25m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L^{-1}).....	216
5.96 Sólidos suspensos fixos para a vala 0,50m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L^{-1}).....	217
5.97 Sólidos suspensos fixos para a vala 0,75m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L^{-1}).....	218
5.98 Sólidos suspensos voláteis para a vala 0,25m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L^{-1}).....	219

5.99 Sólidos suspensos voláteis para a vala 0,50m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L ⁻¹)	220
5.100 Sólidos suspensos voláteis para a vala 0,75m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L ⁻¹)	221
5.101 Logaritmo da concentração de <i>E. coli</i> para a vala 0,25m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L ⁻¹)	223
5.102 Logaritmo da concentração de <i>E. coli</i> para a vala 0,50m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L ⁻¹)	224
5.103 Logaritmo da concentração de <i>E. coli</i> para a vala 0,75m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L ⁻¹)	225
5.104 Logaritmo da concentração de coliformes totais para a vala 0,25m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L ⁻¹).....	226
5.105 Logaritmo da concentração de coliformes totais para a vala 0,50m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L ⁻¹).....	227
5.106 Logaritmo da concentração de coliformes totais para a vala 0,75m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L ⁻¹).....	228

LISTA DE TABELAS

3.1 Classificação das águas em função dos usos preponderantes, de acordo com o CONAMA 357/05.....	11
3.2 Recomendações da Organização Mundial de Saúde (OMS) relativas à qualidade microbiológica para uso agrícola de efluentes de estações de tratamento de esgoto	13
3.3 Principais doenças de veiculação hídrica.....	15
3.4. Agentes infecciosos potencialmente presentes em esgotos domésticos e doenças associadas.....	19
3.5 Principais microrganismos propostos como indicadores de patogênicos.....	22
3.6 Principais propriedades das cloraminas	31
3.7 Propriedades dos desinfetantes	34
3.8 Dosagens típicas de cloro para desinfecção de esgotos brutos e tratados, para padrão de lançamento de $1000\text{NMP}\cdot 100\text{mL}^{-1}$ de coliformes fecais	36
3.9 Demanda de cloro estimada para 15 minutos de contato	37
3.10 Fórmulas dos trihalometanos	41
3.11 Principais agentes desclorantes e dosagens	45
3.12 Concentrações de cloro na fase gasosa e seus efeitos	46

3.13 Procedimentos de emergência a serem tomados em decorrência de contato com o cloro.....	46
3.14 Custos de capital e de operação de diversos sistemas de desinfecção.....	47
3.15 Custos de implantação e de operação para o processo de desinfecção	48
4.1 Sistemas de tratamento prévio à desinfecção.....	53
4.2 Esquema dos ensaios de desinfecção para efluente da lagoa anaeróbia.....	61
4.3 Esquema dos ensaios de desinfecção para efluente das valas de filtração...	63
5.1 Caracterização do efluente da Lagoa Anaeróbia – Paulistano II.....	80
5.2 Dados relevantes sobre as análises estatísticas.....	81
5.3 Relação entre a variável estudada (cloro residual livre e total) e dosagens de hipoclorito de cálcio aplicadas.....	84
5.4 Relação entre a variável estudada (cloro residual livre e total) e os tempos de contato	85
5.5 Relação entre a variável estudada (pH) e as dosagens de hipoclorito de cálcio aplicadas	87
5.6 Relação entre a variável estudada (pH) e os tempos de contato	87
5.7 Relação entre o parâmetro estudado (condutividade) e as dosagens de hipoclorito de cálcio aplicadas.....	90
5.8 Relação entre a condutividade e os tempos de contato estudados	90
5.9 Relação entre a turbidez e as dosagens de hipoclorito de cálcio aplicadas...	92
5.10 Relação entre a turbidez e os tempos de contato estudados.....	92
5.11 Relação entre a variável estudada (alcalinidade parcial e total) e as dosagens de hipoclorito de cálcio aplicadas.....	95
5.12 Relação entre a variável estudada (alcalinidade parcial e total) e os tempos de contato.....	95
5.13 Relação entre a cor aparente e verdadeira e as dosagens de hipoclorito de cálcio aplicada.....	97
5.14 Relação entre a cor aparente e verdadeira e os tempos de contato	98

5.15 Relação entre nitrato, nitrito, N amoniacal e N orgânico e as dosagens aplicadas	101
5.16 Relação entre nitrato, nitrito, N amoniacal e N orgânico e os tempos de contato	102
5.17 Relação entre a DQO bruta e filtrada e as dosagens de hipoclorito de cálcio aplicado	107
5.18 Relação entre a variável estudada (DQO bruta e filtrada) e os tempos de contato	107
5.19 Relação entre o fósforo total e as dosagens de hipoclorito de cálcio aplicadas	108
5.20 Relação entre o parâmetro estudado (fósforo total) e os tempos de contato	109
5.21 Relação entre as variáveis: sólidos totais, sólidos totais fixos e sólidos totais voláteis e a dosagem de hipoclorito de cálcio	111
5.22 Relação entre as variáveis: sólidos totais, sólidos totais fixos e sólidos totais voláteis e a dosagem de hipoclorito de cálcio dos totais voláteis e os tempos de contato	112
5.23 Relação entre as variáveis sólidos suspensos totais, fixos e voláteis e a dosagem de hipoclorito de cálcio aplicadas	114
5.24 Relação entre as variáveis sólidos suspensos totais, fixos e voláteis e os tempos de contato	115
5.25 Relação entre o <i>E. coli</i> e coliformes totais e as dosagens de hipoclorito de cálcio aplicada	118
5.26 Relação entre o <i>E. coli</i> e coliformes totais e os tempos de contato	119
5.27 Relação entre as variáveis: cistos de <i>Entamoeba coli</i> , ovos de <i>Ancilostomatídeos</i> e larvas de <i>nematóides</i> e as dosagens de hipoclorito de cálcio aplicada	122

5.28	Relação entre as variáveis: cistos de <i>Entamoeba coli</i> , ovos de <i>Ancilostomatídeos</i> e larvas de <i>nematóides</i> e os tempos de contato	123
5.29	Variação da concentração de cloro residual total, com a dosagem de hipoclorito de cálcio variando-se o tempo de contato em 30,45 e 60 minutos. ..	125
5.30	Variação do pH com a dosagem de hipoclorito de cálcio variando-se o tempo de contato em 30,45 e 60 minutos	125
5.31	Variação da temperatura com a dosagem de hipoclorito de cálcio variando-se o tempo de contato em 30,45 e 60 minutos.	126
5.32	Variação da condutividade, com a dosagem de hipoclorito de cálcio variando-se o tempo de contato em 30,45 e 60 minutos.....	126
5.33	Variação da turbidez com a dosagem de hipoclorito de cálcio variando-se o tempo de contato em 30,45 e 60 minutos.	127
5.34	Variação do OD com a dosagem de hipoclorito de cálcio variando-se o tempo de contato em 30,45 e 60 minutos.	127
5.35	Variação da DQObruta com a dosagem de hipoclorito de cálcio variando-se o tempo de contato em 30,45 e 60 minutos.....	128
5.36	Variação do Log da concentração de <i>E. coli</i> (NMP 100 mL ⁻¹) concentração de cloro residual total, com a dosagem de hipoclorito de cálcio variando-se o tempo de contato em 30,45 e 60 minutos.....	129
5.37	Variação do Log da concentração de coliformes totais (NMP 100 mL ⁻¹) concentração de cloro residual total, com a dosagem de hipoclorito de cálcio variando-se o tempo de contato em 30,45 e 60 minutos.....	129
5.38	Valores de cloro residual total após a aplicação do desclorante	130
5.39	Dados de significância estatística para o efluente das valas de filtração ...	132
5.40	Relação entre as variáveis: cloro residual livre, combinado e total e a dosagem de hipoclorito de cálcio aplicada e tempo de contato estudado.....	144
5.41	Relação entre o pH e a dosagem de hipoclorito de cálcio aplicada e tempo de contato estudado.....	149

5.42 Relação entre a condutividade e a dosagem de hipoclorito de cálcio aplicada e tempo de contato estudado	154
5.43 Relação entre a turbidez e a dosagem de hipoclorito de cálcio aplicada e tempo de contato estudado	158
5.44 Relação entre as variáveis: alcalinidade parcial e total e a dosagem de hipoclorito de cálcio aplicada e tempo de contato estudado	166
5.45 Relação entre as variáveis: cor aparente e verdadeira e a dosagem de hipoclorito de cálcio aplicada e tempo de contato estudado	174
5.46 Relação entre as variáveis: nitrato, nitrito, N amoniacal e N orgânico e a dosagem de hipoclorito de cálcio aplicada e tempo de contato estudado.....	188
5.47 Relação entre a DQO bruta e a dosagem de hipoclorito de cálcio aplicada e tempo de contato estudado	193
5.48 Relação entre o oxigênio dissolvido e a dosagem de hipoclorito de cálcio aplicada e tempo de contato estudado.....	197
5.49 Relação entre o fósforo total e a dosagem de hipoclorito de cálcio aplicada e tempo de contato estudado	201
5.50 Relação entre as variáveis: sólidos totais, sólidos totais fixos e sólidos totais voláteis e a dosagem de hipoclorito de cálcio aplicada e tempo de contato estudado	212
5.51 Relação entre as variáveis: sólidos suspensos totais, sólidos suspensos fixos e sólidos suspensos voláteis e a dosagem de hipoclorito de cálcio aplicada e tempo de contato estudado	222
5.52 Relação entre a variação do logaritmo da concentração de E. coli e coliformes totais e a dosagem de hipoclorito de cálcio aplicada e tempo de contato estudado	229
5.53 Relação entre as dosagens de hipoclorito de cálcio e a sua eficiência.....	232
5.54 Relação entre os tempos de contato aplicados e a sua eficiência.	233

5.55 Relação das dosagens, tempos de contato, taxas hidráulicas e altura da camada de areia nas valas de filtração..	235
--	-----

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

ABES	Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e ambiental
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANA	Agência Nacional das Águas
ANOVA	Análise de Variância
APHA	American Public Health Association
AWWA	American Water Works Association
CETESB	Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental
CF	Coliformes Fecais
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CT	Coliformes Totais
COT	Carbono Orgânico Total
DQO	Demanda Química de Oxigênio
DQOb	Demanda Química de Oxigênio bruta
DQOf	Demanda Química de Oxigênio filtrada
E. coli	<i>Escherichia coli</i>
EPA	Environmental Protection Agency
ETE	Estação de Tratamento de Esgotos
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations

F. An.	Filtro Anaeróbio
F.B	Filtro Biológico
GEO	Global Environment Outlook
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
log	Logaritmo ou unidade logarítmica
MGD	Milhões de galões por dia
MUG	Substrato fluorogênico 4-metilumbelliferyl- β -D-glocuronide
N	Número de microrganismos
No	Número inicial de microrganismos
NBR	Norma Técnica Brasileira
NMP	Número mais que provável
NTK	Nitrogênio Total Kjeldahl
OD	Oxigênio Dissolvido
OMS	Organização Mundial de Saúde
ONPG	Orto-nitrofenil- β -D-galactopiranosídeo
OPAS	Organización Panamericana de la Salud
pH	Potencial hidrogeniônico
PROSAB	Programa de Pesquisa em Saneamento Básico
rpm	Rotações por minuto
SABESP	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SANASA	Sociedade de Abastecimento de Água e Saneamento S/A
SAS	Statistical Analysis System
ST	Sólidos Totais
STF	Sólidos Totais Fixos
STV	Sólidos Totais Voláteis
SST	Sólidos Suspensos Totais
SSF	Sólidos Suspensos Fixos
SSV	Sólidos Suspensos Voláteis

THM	Trihalometanos
TTHM	Concentração total do trihalometanos
TCM	Triclorometano ou clorofórmio
UASB	Up-Flow Anaerobic Sludge Blanket
UNEP	United Nations Environmental Programme
USEPA	United States Environmental Protection Agency
UV	Ultravioleta
Vala 0,25	Vala de filtração com 0,25m de altura da camada de areia
Vala 0,50	Vala de filtração com 0,50m de altura da camada de areia
Vala 0,75	Vala de filtração com 0,75m de altura da camada de areia
WEF	Water Environment Federation

RESUMO

A desinfecção de águas residuárias, tanto para atender a padrões de lançamento em corpos receptores quanto para o reúso agrícola, é um processo de tratamento indispensável à proteção da saúde pública. Neste trabalho o hipoclorito de cálcio apresenta-se como desinfetante, pois, uma das grandes vantagens desta técnica é que ela deixa um residual de cloro em contato com os efluentes capaz de eliminar os organismos causadores das principais doenças de veiculação hídrica, o inconveniente desta técnica é a provável formação de subprodutos da desinfecção, os chamados trihalometanos. O objetivo geral proposto por este trabalho é a avaliação da desinfecção de efluentes de uma lagoa anaeróbia, situada em Franca, São Paulo e administrada pela Sabesp; e, dos efluentes das valas de filtração construídas com 0,25, 0,50 e 0,75m de camada de areia, as quais foram alimentadas com efluente proveniente de uma fossa filtro e coletada na ETE Icaraí, administrada pela Sanasa, Campinas, São Paulo. Na desinfecção foi utilizado hipoclorito de cálcio promovendo variações dos tempos de contato em 30, 45 e 60 minutos. Dosagens de hipoclorito de cálcio entre 25 e 32 mg L⁻¹ e dosagens 1,6 e 3,25 mg L⁻¹ foram necessárias para adequar os efluentes da lagoa anaeróbia e das valas de filtração, respectivamente, aos padrões estabelecidos pela OMS (1989) para reúso agrícola; e, pela CONAMA 357/05, para padrões de lançamento em corpos receptores de classe 2. Os resultados sobre inativação de protozoários e helmintos foram considerados não satisfatórios para o efluente da lagoa anaeróbia e para as valas de filtração verificou-se que há uma retenção desses microrganismos nas camadas de areia.

Palavras-chave: desinfecção, hipoclorito de cálcio, reúso, valas de filtração, efluente anaeróbio.

ABSTRACT

The wastewater disinfection is an indispensable practice to the protection of public health, it needs to follow the standards established of launching water in the rivers and lakes and for the reuse on agriculture. In this process the hypochlorite of calcium is presented as disinfecting agent, therefore, one of the great advantages of this technique is that it leaves a residual of chlorine in contact with effluents capable to eliminate organisms causing of the main illnesses of hydric propagation, the inconvenience of this technique is the probable by-product formation of the disinfection, called the trihalomethanes. The general objective considered by this work is the evaluation of the disinfection of effluent of an anaerobic pond, situated in Franca, São Paulo and managed by the Sabesp and of the effluent ones of the ditches of filtration of 0,25, 0,50 and 0,75m of effluent sand layer fed with proceeding from one fosse filter and collected in the ETE Icaraí managed for the Sanasa, Campinas, São Paulo, with hypochlorite of calcium varying the times of contact in 30, 45 and 60 minutes. Dosages of hypochlorite of calcium between 25 and 32 mg L⁻¹ and dosages 1,6 and 3,25 mg L⁻¹ had been necessary to adjust the effluent of the anaerobic pond and the ditches of filtration, respectively, to the standards established for the OMS (1989) for agriculture reuse and CONAMA 357/05 for standards of launching in the receptors of class 2. The results on inactivation of protozoa and helminths have been considered not satisfactory for the effluent ones of the anaerobic ponds and for the filtration ditches it was verified that it has a retention of these microorganisms in the sand layers.

Key words: disinfection, hypochlorite of calcium, reuse, ditches of filtration, anaerobic effluent.

1 INTRODUÇÃO

Entre 1900 e 1995, a população mundial triplicou e o consumo global de água cresceu mais de seis vezes (GEO, 2000). Esses dados são alarmantes ao levar-se em consideração que um terço da população do planeta vive em países que sofrem estresse hídrico, sendo que este percentual consome cerca de 10% dos recursos renováveis de água doce (GEO, 2003).

Levando-se em consideração esses resultados e a estimativa feita pela Organização Mundial de Saúde (OMS) que em torno de 2025 a população mundial será de 8.9 bilhões e será a máxima que o suprimento de água na terra pode suportar. Algumas providências devem ser tomadas no sentido de minimizar o problema da escassez tornando-se necessário o estudo de técnicas alternativas para a minimização deste problema.

A desinfecção de efluentes sanitários para o uso na agricultura é uma boa alternativa encontrada para que diminua a demanda de água potável para irrigação, pois de acordo com ANA (2003) no Brasil a irrigação consome cerca de 60% de água

potável do país, o que não é diferente da demanda global que corresponde a 70% de toda a água consumida no planeta (FAO, 2002).

A maioria absoluta das Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) no Brasil não possui uma etapa específica para a desinfecção. O tratamento de água e esgotos, entretanto, implica na utilização de substâncias químicas que podem, por sua vez, afetar a saúde daqueles que a utilizam.

A cloração seguramente é a técnica mais empregada, pois, em qualquer dos seus diversos compostos, destrói ou inativa os organismos causadores de enfermidades, sendo que esta ação se dá à temperatura ambiente e em tempo relativamente curto (MEYER et al (1994) e TOMINAGA (1999)). E também, levando-se em consideração que ao final do processo deixa um residual na rede, item muito importante para a saúde pública. Os demais reagentes não possuem esta característica e além do mais, não se tem estudos conclusivos com relação à formação de subprodutos da desinfecção. Sua aplicação é simples exigindo equipamentos de baixo custo.

Acredita-se que os processos de desinfecção já ocorriam em 500 a.C com o uso da água fervida, mas alguns historiadores julgam que esta prática era adotada desde o começo da civilização. Havia-se uma crença de que as doenças eram transmitidas através de odores, e a desinfecção, era a única forma de controlar a propagação de doenças através dos odores LABUSCH (1971) *apud* Macêdo (2001).

Porém, de acordo com MACÊDO et al (2001) somente no início do século XX começam os processos de desinfecção da água potável na Europa e posteriormente nos EUA, este estudo tem como conseqüências positivas: melhora da qualidade de vida após a adoção da cloração da água, dentre elas a redução da mortalidade por febre tifóide nos Estados Unidos em 40%; aumento da perspectiva de vida nos Estados Unidos cresceu 19%, nos primeiros 20 anos do início do século XX; diminuição drástica dos surtos de doenças de veiculação hídrica, entre outros.

O inconveniente da técnica é que recentemente descobriu-se subprodutos da desinfecção, principalmente nas formas de cloro livre que associados a precursores como os ácidos húmicos, ácidos fúlvicos, brometos ou algas formam diversos compostos classificados como trialometanos (THM).

Os levantamentos epidemiológicos relacionando a concentração dos THM com a morbidade e a mortalidade por câncer não são estatisticamente conclusivos, mas evidenciam associações positivas em alguns casos de carcinomas (MEYER, 1994).

O presente trabalho estuda a desinfecção de efluentes sanitários por meio de um processo químico muito utilizado por questões didáticas e econômicas que é a cloração utilizando como reagente o hipoclorito de cálcio e posterior descloração. Procura-se compreender os avanços dessa técnica variando-se o reagente, suas dosagens e o tempo de contato, visando obter resultados adequados aos padrões estabelecidos para uso na agricultura de acordo com a OMS (1989) e a CONAMA 357/05.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Esta pesquisa tem como objetivo geral o estudo em escala piloto da eficiência da desinfecção com hipoclorito de cálcio de efluentes sanitários visando produzir um efluente nos padrões microbiológicos recomendados pela OMS (1989) e pelo CONAMA 357/05 para reúso em culturas agrícolas e padrões de lançamento em corpos receptores - *E. coli* $\leq 10^3$ NMP 100 mL⁻¹ e Helmintos ≤ 1 ovo L⁻¹.

2.2 Objetivos Específicos

Esta pesquisa tem como objetivos específicos:

(a) Avaliar o desempenho da desinfecção utilizando o hipoclorito de cálcio na remoção de patógenos (helmintos, protozoários e coliformes) em função das características do esgoto estudado;

(b) Avaliar os parâmetros operacionais (uso do reagente, dosagem aplicada para cada efluente e tempo de contato) assim como avaliar os efeitos físicos e químicos da aplicação do hipoclorito de cálcio sobre a qualidade final do efluente;

(c) Avaliar a possibilidade técnica do uso de reatores fossa-filtro/vala de filtração associado ao mecanismo de desinfecção com hipoclorito de cálcio.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Distribuição da água no planeta Terra

A água é o constituinte inorgânico mais abundante na matéria viva. Ela é ingerida em maior quantidade que todos os outros alimentos reunidos e é, também, a sua principal excreção. Um adulto ingere por dia mais de dois litros de água, cerca de 3% de seu peso corpóreo que, por sua vez, é constituído por mais de 80% de água (RIEDEL, 1992; *apud* TOMINAGA, 1999).

Dados recentes publicados por GEO (2003) apontam que o planeta Terra possui cerca de 1,40 milhões de km³ de água distribuídos da seguinte forma: 98% se encontram na forma de águas oceânicas (salgada) e cerca de 2% em forma de água doce, sendo 1,7% geleiras e apenas 0,3% de águas subterrâneas e superficiais. Apenas o percentual de 0,3% pode ser utilizado para abastecimento público, sendo que desse percentual apenas 3% apresentam-se na forma de água superficial, ou seja, de fácil extração. Daí tem-se a grande preocupação em preservar os recursos hídricos na

Terra. A figura 3.1 apresenta a disponibilidade hídrica mundial dividida por regiões no ano de 2000.

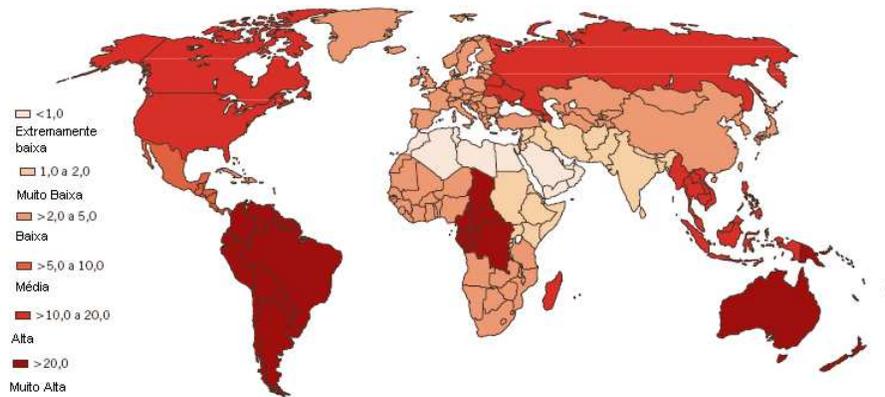


Figura 3.1 Disponibilidade hídrica mundial em 2000 (1000 m³/capita/ano).

Fonte: Modificado de GEO (2003).

Percebe-se que o Hemisfério Sul possui maior disponibilidade hídrica, em países da América do Sul e Oceania a disponibilidade hídrica é maior que 20000m³/capita/ano. Em contrapartida, os países europeus e africanos em sua maioria, populosos, têm uma baixa disponibilidade hídrica inferior a 5,0m³/capita/ano.

3.2 Usos da água

Segundo Von Sperling (1996) os principais usos da água são: abastecimento doméstico, abastecimento industrial, irrigação, dessedentação de animais, aqüicultura, preservação da flora e da fauna, recreação e lazer, harmonia paisagística, geração de energia elétrica, navegação e diluição de despejos.

A exemplo da demanda global de água para irrigação, que soma 70% de toda a água consumida no planeta (FAO, 2002 e GEO, 2003), a maior demanda por água no Brasil é também exercida pela irrigação, responsável por cerca de 60% de todo o consumo no país (ANA, 2003). Dado que a demanda doméstica brasileira soma 27% de todo o volume de água consumida (ANA, 2003), o reúso desse efluente constitui uma importante fonte potencial de recursos hídricos para irrigação. A figura 3.2 apresenta a quantidade em km³/ano de água extraída para a quantidade em milhões de hectares de terras irrigadas.

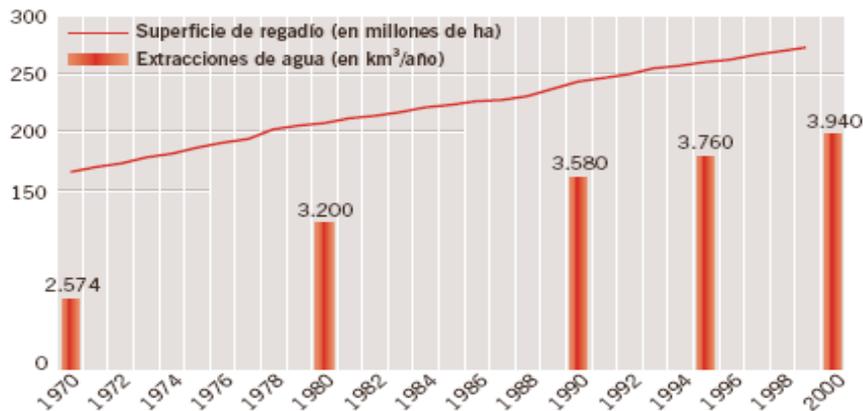


Figura 3.2 Superfície irrigada e a extração de água no mundo.

Fonte: FAO 2001, Shiklomanov 1998 e adaptada de GEO (2003).

Verifica-se através da figura 3.2 que de 1970 a 2000 houve um aumento de mais de 100 milhões de hectares irrigados e, conseqüentemente, aumentou-se em torno de 60% em quantidade de água extraída em quilômetros cúbicos para irrigação, esse dado causa preocupação no sentido de se utilizar um bem finito.

3.3 Considerações sobre o uso de esgotos domésticos na agricultura

A água vem se tornando cada vez mais escassa à medida que a população, a indústria e a agricultura se expandem. Embora os usos da água variem de país para país, a agricultura é a atividade que mais consome água. É possível atenuar a diminuição das reservas locais de água de duas maneiras: pode-se aumentar a captação, represando-se rios ou consumindo-se o capital -- "minando-se" a água subterrânea; e podem-se conservar as reservas já exploradas, seja aumentando-se a eficiência na irrigação ou importando alimentos em maior escala - estratégia que pode ser necessária para alguns países, a fim de reduzir o consumo de água na agricultura (ALVES, 2006).

No Brasil, a escassez de recursos hídricos do tempo presente é resultado principalmente da baixa proporção de tratamento de águas residuárias e da distribuição regional da demanda e da disponibilidade de recursos hídricos (ASSIRATI, 2005).

O uso de esgoto doméstico na agricultura tem evoluído significativamente nas últimas décadas. Sob as condições do nosso país, é promissor a utilização de esgotos domésticos, visando à reutilização dos nutrientes originários da decomposição da matéria orgânica. Além do mais, o esgoto doméstico é fonte em potencial de nutrientes para plantas.

3.3.1 Padrões de emissão de efluentes no Brasil

No Brasil, não existem padrões para lançamento ou para uso agrícola de efluentes em relação a coliforme ou outros organismos indicadores (BASSANI et al, 2002). Os limites estabelecidos pela CONAMA 357/05 para águas de classe 2,

destinadas à irrigação de hortaliças e plantas frutíferas, fixam que, em pelo menos 80% de no mínimo cinco amostras mensais, os valores de coliformes fecais e totais sejam iguais ou menores a 1000 CF 100 mL⁻¹ e 5000 CT 100 mL⁻¹ respectivamente, como ilustra a tabela 3.1.

Tabela 3.1 Classificação das águas em função dos usos preponderantes, de acordo com a CONAMA 357/05.

	Classe									
	Doce				Salinas			Salobras		
	Especial	1	2	3	4	5	6	7	8	
Especificações										
Coliformes Totais (NMP 100mL)		1000	5000	20000						
Coliformes Fecais (NMP 100mL)		200	1000	4000						
Usos Preponderantes										
Abastecimento doméstico	X	X(a)	X(b)	X(b)						
Preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas	X									
Recreação e contato primário		X	X			X		X		
Proteção das comunid. aquáticas		X	X			X		X		
Irrigação		X(c)	X(d)	X(e)						
Aqüicultura		X	X			X		X		
Dessedentação de animais				X						
Recreação e contato secundário							X		X	
Usos menos exigentes						X				

Notas: (a) após o tratamento simplificado; (b) após o tratamento convencional; (c) hortaliças consumidas cruas e frutas que se desenvolvem rente ao solo e são ingeridas cruas sem a remoção de película; (d) hortaliças e plantas frutíferas; (e) culturas arboráceas, cerealíferas e forrageiras.

Fonte: Modificado de Von Sperling (1996) e adaptado de Gonçalves (2003)

O importante é analisar que para um efluente atingir as especificações recomendadas pela CONAMA 357/05 há a necessidade de inclusão de uma etapa de desinfecção. Apesar disso, a maioria das estações brasileiras não adotam processos de desinfecção.

3.3.2 Parâmetro para reúso de efluentes tratados

A Organização Mundial da Saúde estabeleceu, em 1989, parâmetros de qualidade microbiológica para reúso de efluentes tratados de acordo com a atividade agrícola destinada, tomando como base a concentração de coliformes fecais e o número de ovos de helmintos por unidade de volume. A tabela 3.2 apresenta algumas recomendações da Organização Mundial de Saúde (OMS) relativas à qualidade microbiológica para uso agrícola de efluentes de Estações de Tratamento de Esgotos (ETE).

Tabela 3.2. Recomendações da Organização Mundial de Saúde (OMS) relativas à qualidade microbiológica para uso agrícola de efluentes de estações de tratamento de esgoto.

Categoria	Condições de reúso	Grupo exposto	Ovos helmintos L⁻¹(a) (média aritmética)	CF 100 mL⁻¹ (b) (média geométrica)
A	Irrigação de culturas ingeridas cruas, campos de esporte e parques (c)	Trabalhadores consumidores públicos	≤ 1	≤ 1000
B	Irrigação de culturas ingeridas cozidas (cereais para a indústria, pastos, árvores frutíferas(d), etc.)	Trabalhadores	≤ 1	Não se recomenda
C	Idem à categoria B, caso não haja exposição de trabalhadores e público.	nenhum	Não se aplica	Não se aplica

(a) espécies dos nematóides: *Ascaris*, *Trichuris*, *Necator americanus* e *Ancilostoma duodenale*;

(b) durante o período de irrigação; (c) recomendações mais rigorosas (≤ 200 CF/100mL) para gramados com que o público tem contato direto; (d) para árvores frutíferas, suspender irrigação 2 semanas antes da colheita e não apanhar frutas do chão.

Fonte: OMS (1989) e modificado de Gonçalves (2003).

O uso agrícola de efluentes domésticos tratados é uma alternativa que permite aumentar a oferta de recursos hídricos além de propiciar a remoção no solo e pelas plantas de nutrientes remanescentes dos processos de tratamento de esgoto. A operação segura de sistemas de reúso depende, entretanto, da confiabilidade do estágio de desinfecção, considerado como o mais importante processo de tratamento de esgoto para a proteção da saúde pública (KOLTUNSKI e PLUMRIDGE, 2000; XU et al, 2002 *apud* ASSIRATI (2005)).

Nos Estados Unidos, os critérios de uso de efluentes domésticos variam conforme o estado, porém, em países onde as leis são mais restritivas o limite de coliformes totais permitido por 100 mL de esgoto doméstico é de 2,2 organismos após

tratamento físico-químico e desinfecção.

3.4 Doenças associadas à água

A possibilidade de contrair doenças pela água foi muito inferida pelo homem. Registros sobre medidas objetivando a melhoria da qualidade da água remontam a 2000 a.C. Posteriormente, há menções efetuadas na antiga Grécia por Hipócrates (BAKER, 1949, *apud* LEAL, 2001) – considerado o pai da medicina - no alvorecer do império macedônio entre os séculos III e IV a.C, nas quais se reporta à importância da correta definição dos mananciais de abastecimento como forma de preservar a saúde da população(DANIEL, 2001).

Somente no século XIX a água foi reconhecida como meio de transmissão de doenças. A primeira doença a ser descoberta foi a cólera que segundo o médico John Snow em 1849 comprovou sua teoria examinando pacientes na cidade de Londres. (DANIEL, 2001). A partir de então, houve-se a preocupação da população com relação ao contato de pessoas com águas contaminadas.

3.5 Principais doenças de veiculação hídrica

As moléstias relacionadas à água dividem-se em quatro grupos que dependem de como ocorre a transmissão. As doenças de veiculação hídrica, propriamente ditas, constituem o grupo no qual o agente patogênico é ingerido junto com a água. Relacionam-se também com a água as doenças passíveis de serem transmitidas durante as atividades de higiene pessoal, no contato com água contaminada, e as moléstias cujo vetor apresenta parte de seu ciclo desenvolvido no ambiente

aquático (CAIRNCROSS & FEACHEM, 1990 *apud* Daniel, 2001). A Tabela 3.3. são apresentados as principais doenças de veiculação hídrica e os respectivos agentes etiológicos, sintomas usuais e fontes de contaminação.

Tabela 3.3. Principais doenças de veiculação hídrica.

Doença	Agente etiológico	Sintomas	Fontes de contaminação
Febres: tifóide e paratifóide	<i>Salmonella typhi</i> <i>Salmonella paratyphi A e B</i>	Febre elevada, diarreia.	Fezes humanas
Disenteria bacilar	<i>Shigella dysenteriae</i>	Diarreia.	Fezes humanas
Disenteria amebiana	<i>Entamoeba histolytica</i>	Diarreia, abscessos no fígado e intestino delgado.	Fezes humanas
Cólera	<i>Vibrio cholerae</i>	Diarreia e desidratação.	Fezes humanas e águas costeiras
Giardiase	<i>Giardia Lamblia</i>	Diarreia, náusea, indigestão, flatulência.	Fezes humanas e de animais
Hepatite A e B	<i>Vírus da hepatite A e B</i>	Febre, icterícia.	Fezes humanas
Poliomielite*	<i>Vírus da poliomielite</i>	Paralisia.	Fezes humanas
Criptosporidiose	<i>Cryptosporidium parvum</i> , <i>Cryptosporidium muris</i>	Diarreia, anorexia, dor intestinal, náusea, indigestão, flatulência.	Fezes humanas e de animais
Gastroenterite	<i>Escherichia coli</i> , <i>Campylobacter jejuni</i> , <i>Yersinia enterocolitica</i> , <i>Aeromonas hydrophila</i> , <i>Rotavirus</i> e outros vírus entéricos	Diarreia.	Fezes humanas

*Enfermidade erradicada no Brasil

Fonte: Neves (1998), Von Sperling (1995), Cohn *et al.* (1999) e adaptado de Daniel (2001).

A prevalência das doenças de veiculação hídrica constitui um forte indicativo da fragilidade dos sistemas públicos de saneamento principalmente na América Latina, África e Ásia.

Essa fragilidade acontece pela ausência de redes coletoras de esgotos e, principalmente, pela qualidade da água distribuída à população, quando os sistemas de abastecimento se fazem presentes. Esses fatores contribuem para os elevados índices

de mortalidade infantil do Brasil entre os mais elevados do continente.

Estimativa realizada pelo IBGE (2000) citado por Daniel (2001) aponta para um índice de mortalidade infantil, no Brasil, de 35,5 óbitos de menores de um ano por mil nascidos vivos, um dos mais elevados das Américas, superando 60/1000 em alguns estados da Região do Nordeste. As Figuras 3.3 e 3.4 apresentam os índices de mortalidade infantil e os percentuais da população atendida por redes de abastecimento de água e coletoras de esgotos de alguns estados brasileiros.

Percebe-se através das figuras que países com maior população atendida com rede de distribuição de água menor é a mortalidade infantil. Os Estados Unidos possui quase a totalidade da sua população atendida com redes de distribuição de água e têm o menor índice de mortalidade infantil que fica em torno de 5,0 óbitos de menores de um ano nascidos por mil nascidos vivos. O Brasil apresenta uma percentagem de 75% de população atendida com rede de distribuição de água, mas a mortalidade infantil é a mais alta entre os países estudados atingindo um índice de quase 35,0 óbitos de menores de um ano nascidos por mil nascidos vivos.

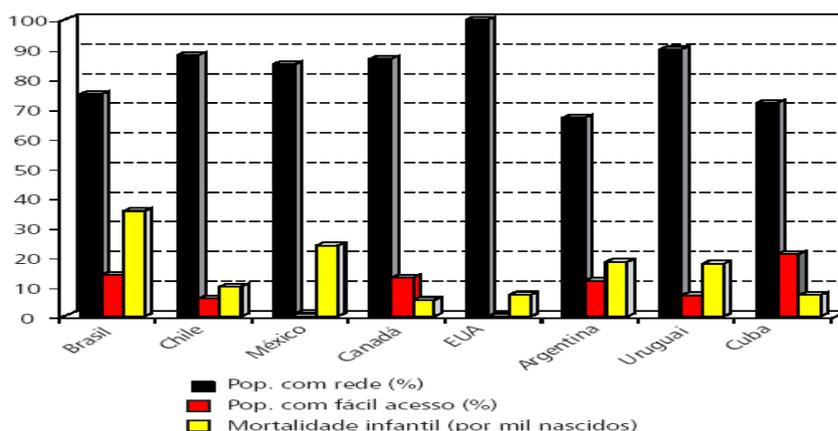


Figura 3.3. Relação entre a cobertura por redes de distribuição de água e a mortalidade infantil em alguns países da América.

Modificado de (Revista Bio (2000); XVII CABES (1998) apud DANIEL (2001)).

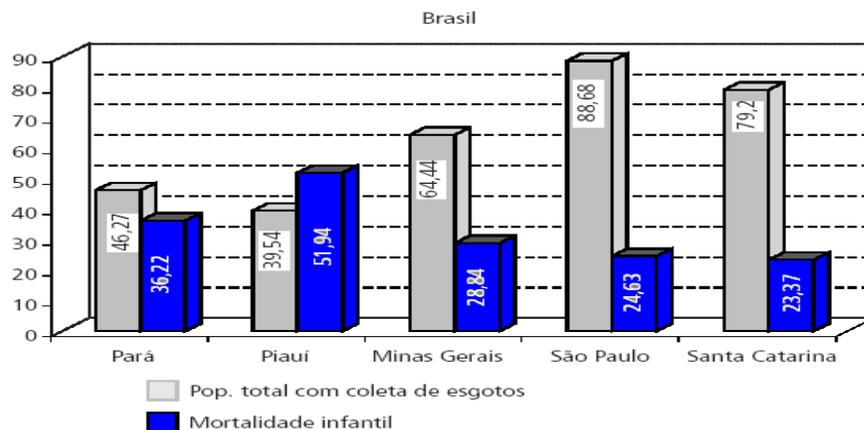


Figura 3.4. Relação entre os índices de mortalidade infantil e de cobertura por redes de esgotos de alguns estados brasileiros.

Modificado de (Revista Bio (2000); XVII CABES (1998) apud DANIEL (2001)).

Ao analisar os dados de alguns estados brasileiros, vê-se que a mortalidade infantil está associada à população total atendida com coleta de esgotos. O estado de São Paulo têm a maior população atendida com coleta de esgotos e possui um dos menores índices de mortalidade infantil. Por outro lado, o estado do Piauí, localizado no Nordeste brasileiro possui o menor índice de população atendida com redes de esgoto em torno de 40% e a maior mortalidade infantil que chega a atingir 52 óbitos de menores de um ano por mil nascidos vivos.

3.6 Microrganismos presentes nos esgotos domésticos

Os microrganismos presentes em efluentes domésticos podem ser agrupados em quatro grandes grupos: bactérias, vírus, protozoários (cistos ou oocistos) e helmintos. O potencial relativo de cada um desses grupos de provocar doenças na população é melhor avaliado de acordo com os seguintes fatores: tipo de contato, tempo de sobrevivência do organismo no ambiente e o número mínimo de

organismos necessários para provocar a patologia (BASSANI, 2003). Esses indivíduos podem ser classificados como organismos patogênicos e não patogênicos. Existem ainda os organismos indicadores (GONÇALVES, 2003).

3.6.1 Agentes patogênicos

A transmissão de organismos patogênicos ao homem pode ocorrer através de ingestão direta ou indireta de água não tratada ou de água tratada de má qualidade, ingestão de alimentos contaminados e contato da pele com a água ou o solo contaminados. A diversidade e a quantidade de organismos patogênicos presentes no esgoto depende de fatores como a quantidade de indivíduos infectados na população e a densidade de organismos presentes em cada indivíduo. A tabela 3.4 apresenta os agentes infecciosos potencialmente presentes em esgotos domésticos e doenças associadas.

Tabela 3.4 Agentes infecciosos potencialmente presentes em esgotos domésticos e doenças associadas.

Tipo de patógeno	Organismo	Doença
Bactéria	<i>Salmonella typhi</i>	Febre Tifóide
	<i>Salmonella</i>	Salmonelose
	<i>Shigela</i> spp.	Disenteria bacilar
	<i>Vibrio cholerae</i>	Cólera
	<i>Leptospira</i> spp.	Leptospirose
	<i>E.coli</i> enteropatogênico	Gastroenterite
	<i>Legionella pneumophila</i>	Pneumonia
Vírus	Enterovírus (72 tipos)	Gastroenterite, anomalias do coração, meningite
	Hepatite A	Hepatite infecciosa
	Rotavírus	Gastroenterite
Protozoário	<i>Balantidium Coli</i>	Balantidíase
	<i>Entamoeba histolytica</i>	Disenteria amebiana
	<i>Giardia lamblia</i>	Diarréia e gastroenterite
	<i>Cryptosporidium</i> spp.	Diarréia e gastroenterite
Helminto	<i>Ascaris lumbricóides</i>	Ascariíase
	<i>Toxocara</i> spp.	Febre, dor abdominal
	<i>Taenia</i> spp.	Teníase

FONTE: adaptado EPA (1999) e GONÇALVES (2003)

Esgotos domésticos contêm uma grande variedade de bactérias patogênicas e não patogênicas em diferentes concentrações. Entre as bactérias presentes no trato gastrintestinal humano e, conseqüentemente, nos esgotos, destaca-se o grupo das bactérias coliformes fecais. Apesar de não causarem doenças, essas bactérias são indicadoras de contaminação fecal, ou seja, da possível presença de microrganismos patogênicos (TCHOBANOGLIOUS, 2003; GONÇALVES, 2003).

As bactérias dos grupos *Salmonellae* e a *Shigella* abrangem uma grande variedade de espécies causadoras de doenças aos humanos e animais, como intoxicação alimentar, ou salmonelose, febre tifóide, cólera, diarréia e disenteria.

(TCHOBANOGLIOUS, 2003; GONÇALVES, 2003).

Os protozoários patogênicos mais comuns e conhecidos há muito tempo presentes em esgotos são a *Entamoeba histolytica*, a *Giárdia lamblia* e o *Balantidium coli*. Porém, o *Cryptosporidium parvum*, *Cyclospora* e *Giárdia lamblia* têm atraído atenção recentemente, devido ao seu impacto significativo sobre indivíduos com o sistema imunológico comprometido, como portadores de HIV, crianças, idosos e pessoas sob tratamento contra o câncer. (ROBERTS E JANOVY, 1996; *apud* TCHOBANOGLIOUS, 2003).

A infecção por protozoários é causada pela ingestão de água contaminada com cistos e oocistos viáveis. Apesar de nem todos os cistos e oocistos serem capazes de causar doenças, a ingestão de um único cisto pode desencadear um processo infeccioso.

O termo helminto é usado para descrever os vermes, principalmente os nematóides e os platelmintos que estão entre os principais causadores de doenças no ser humano em todo o mundo. A contaminação por nematóides se dá por ingestão de ovos ou larvas ou por penetração de larvas na pele ou nas mucosas. Os exemplos mais comuns de nematóides são: *Trichuris trichiura*, *Necator americanus*, *Ancylostoma duodenale*, *Strongyloides stercoralis* e o *Ascaris lumbricóides*, este por sua vez é considerado a infecção parasitária prevalecente no mundo, com mais de um e meio bilhão de pessoas infectadas (COMPTON, 1989; MAIER et al, 2000; ROBERTS E JANOVY, 1996; *apud* TCHOBANOGLIOUS, 2003). Os Platelmintos são representados pelos organismos *Taenia saginata* e a *Taenia solium*, transmitidos pela ingestão de carne bovina e suína mal preparadas.

As doenças mais conhecidas causadas por vírus entéricos patogênicos isolados em esgotos domésticos são a hepatite infecciosa (vírus da hepatite A), gastroenterite

(enterovírus e parvovírus), diarreia (rotavírus e adenovírus), doenças respiratórias, gastroenterite e conjuntivite (reovírus e adenovírus) (TCHOBANOGLUS,2003;GONÇALVES, 2003).

3.6.2 Organismos indicadores

A escolha de um microrganismo que possa ser considerado um microrganismo indicador é difícil, pois para que ele seja um microrganismo indicador, de acordo com Daniel (2001); Gonçalves (2003) e Tchobanoglous et al (2003), devem apresentar as seguintes características: (a) ser membro normal da flora intestinal dos indivíduos saudáveis, (b) habitar exclusivamente o intestino e conseqüentemente ser de origem exclusivamente fecal quando encontrado no ambiente aquático, (c) ser exclusivamente de origem humana (não satisfeito por qualquer bactéria indicadora atualmente em uso), (d) estar presente sempre que patogênicos de origem fecal estiverem presentes, (e) estar presente em maior número do que os patogênicos fecais, (f) ser incapaz de crescer em ambiente externo ao intestino e apresentar taxa de inativação inferior aos patogênicos de origem fecal, (g) ser resistente aos fatores antagônicos naturais, como por exemplo, luz solar e aos processos de tratamento de águas e de esgotos em grau igual ou maior do que os patogênicos de origem fecal, (h) ser fácil de ser detectados e contados, (i) não ser patogênico. Vê-se que é praticamente impossível encontrar um microrganismo que atenda a todas essas características.

A prática de controle microbiológico no Brasil se fundamenta no controle da presença de bactérias do grupo coliformes, seguindo uma tendência internacional em vigor até o final da década de 80. Todavia, tem sido constatada a fragilidade deste controle, pois, o teste de coliformes não garante a ausência de outros patogênicos nas

águas, mais resistentes que as bactérias.

Atualmente, outros organismos estão sendo estudados como indicadores. A Tabela 3.5 relaciona alguns microrganismos propostos como indicadores de patogênicos.

Tabela 3.5 Principais microrganismos propostos como indicadores de patogênicos.

Organismo Indicador	Indicador de contaminação	Bom indicador	Não indicado
<i>Bactérias coliformes</i>	Contaminação de origem fecal e não fecal.	Bactérias entéricas, alguns vírus e microrganismos menos resistentes que esse grupo.	Bactérias esporuladas, vírus, helmintos, protozoários e todos os microrganismos mais resistentes.
<i>Bactérias do grupo coliformes fecais</i>	Contaminação de origem fecal ^a são bons indicadores para águas balneárias.	Bactérias entéricas, alguns vírus e microrganismos menos resistentes que esse grupo.	Bactérias esporuladas, vírus, helmintos, protozoários e todos os microrganismos mais resistentes.
<i>Klebsiella</i>	Contaminação de origem fecal e não fecal é o principal componente da população de coliformes na vegetação e em resíduos de indústrias de papel, têxtil e outros.	O recrescimento de coliformes em sistemas de distribuição de água.	Bactérias esporuladas, vírus, helmintos, protozoários e todos os microrganismos mais resistentes.
<i>E. coli</i>	Poluições recentes de origem exclusivamente fecal.	Bactérias entéricas de origem humana, vírus, e microrganismos menos resistentes.	Bactérias esporuladas, vírus, helmintos, protozoários e todos os microrganismos mais resistentes.
<i>Colifagos</i>	Poluição de origem fecal. É bastante utilizado na avaliação da qualidade da água.	Vírus	Helmintos, protozoários e todos os microrganismos mais resistentes.
<i>Clostridium perfringens</i>	Ótimo indicador de contaminação fecal onde foi utilizada a desinfecção, ou onde há.	Protozoários	Helmintos e todos os microrganismos mais resistentes

^a Sua especificidade como indicador de contaminação fecal é comprometida pela existência, nesse grupo, de alguns coliformes que não são de origem exclusivamente fecal

Fonte: Adaptado de Daniel (2001) organizado por Dais (2001), adaptado de WEF (1996); USEPA (1999); Lima et al. (1999); APHA, AWWA, WEF (1991).

3.7 Considerações gerais

3.7.1 Desinfecção

A desinfecção de esgotos sanitários não visa à eliminação total de microrganismos (esterilização), conforme ocorre na medicina e na indústria de alimentos (JORDÃO, 2005). Desinfetar esgotos é uma prática que busca inativar seletivamente espécies de organismos presentes no esgoto sanitário, em especial aquelas que ameaçam a saúde humana, em consonância com os padrões de qualidade estabelecidos para diferentes situações. (GONÇALVES, 2003).

A desinfecção dos esgotos deve ser considerada quando se pretende reduzir os riscos de transmissão de doenças infecciosas, principalmente quando o contato humano, direto ou indireto, com as águas contaminadas, ser provável de ocorrer (CHERNICHARO, 2001).

A escolha de um sistema de desinfecção deve levar em consideração as características físico-químicas do esgoto, concentração de organismos patogênicos, efetividade do desinfetante, volume a ser tratado, nível de tratamento anterior à desinfecção, formação de subprodutos indesejáveis, segurança ocupacional, persistência de residual, entre outros (WHITE, 1999).

3.7.2 Histórico da desinfecção

Acredita-se que os processos de desinfecção já ocorriam em 500 a.C, com o uso da água fervida, mas alguns historiadores julgam que esta prática era adotada desde o começo da civilização (LABUSCH (1971) *apud* MEYER (1994)). Até que a teoria dos microrganismos fosse estabelecida por Louis Pasteur em 1880, havia-se uma crença de que as doenças eram transmitidas através de odores, e a desinfecção de águas e esgotos, era a única forma de controlar a propagação de doenças através dos odores (MEYER, 1994).

Porém, de acordo com MACÊDO et al (2001) somente no início do século XX iniciou-se a aplicação de processos de desinfecção da água potável na Europa e posteriormente nos EUA, este estudo tem como conseqüências positivas: melhora da qualidade de vida após a adoção da cloração da água, dentre elas a redução da mortalidade por febre tifóide nos Estados Unidos em 40%; aumento da perspectiva de vida nos Estados Unidos cresceu 19%, nos primeiros 20 anos do início do século XX; diminuição drástica dos surtos de doenças de veiculação hídrica, entre outros.

3.7.3 Métodos de desinfecção

Basicamente existem dois métodos de desinfecção possíveis de serem aplicados: (a) agentes químicos: cloro (Cl_2 , hipoclorito de sódio ou de cálcio), dióxido de cloro, cloraminas e ozônio, (b) agentes físicos: calor e radiação ultravioleta.

3.7.4 Evolução da técnica de desinfecção utilizando o método de cloração

De acordo com Meyer (1994) e Zarpelon (2001) algumas considerações devem ser feitas com relação à evolução da desinfecção de águas utilizando a cloração como método de tratamento de águas e esgotos pode ter como objetivos a desinfecção (destruição dos microrganismos patogênicos), a oxidação (alteração das características da água pela oxidação dos compostos nela existentes) ou ambas as ações ao mesmo tempo.

O uso do cloro na desinfecção da água foi iniciada com a aplicação do hipoclorito de sódio (NaOCl), obtido pela decomposição eletrolítica do sal. Inicialmente, o cloro era empregado na desinfecção de águas somente em casos de epidemias. De acordo com Rossin (1987) *apud* Meyer (1994), os processos de cloração evoluíram com o tempo, podendo esta evolução ser caracterizada em diferentes décadas.

- A partir de 1902 - A cloração foi adotada de maneira contínua na Bélgica;
- 1908 a 1918 – Iniciou-se o uso da técnica de cloração das águas; e posterior aplicação de uma pequena quantidade de cloro;
- 1918 a 1928 - Houve uma acentuada expansão no uso de cloro líquido;
- 1928 a 1938 - Uso de cloraminas, adição conjunta de amônia e cloro, de modo a se obter um teor residual de cloraminas. Ainda não eram empregados testes específicos para se determinar os residuais de cloro;

- 1948 a 1958 - Refinamento da cloração; determinação das formas de cloro combinado e livre; e, cloração em controles bacteriológicos.

Em 1991, a cólera causou a morte de milhares de habitantes do Peru, sendo a origem da doença a suspensão do processo de desinfecção por derivados clorados no tratamento de água potável, pela interpretação incorreta de uma diretriz da Agência de Proteção Ambiental do Estados Unidos (USEPA), sendo que as autoridades peruanas ignoraram todos os trabalhos científicos sobre o desenvolvimento de biofilme bacteriano, cuja formação é facilitada pela falta de um nível de cloro residual. Outros casos de surto de cólera veiculados pela água, em países como Itália, Albânia e Ruanda foram erradicados pelo processo de desinfecção com uso de derivados clorados (ZARPELON, 2001).

Além da finalidade de desinfecção, a cloração pode ser praticada com vários outros objetivos, como: controle de odor, redução da carga orgânica inicial, facilitação de remoção de espuma em decantadores e aumento da eficiência de decantação, promover a remoção de organismos patogênicos, prevenção de putrefação, aumento de remoção de gorduras e espuma, prevenção do entupimento de filtros e controle de insetos, entre outros (JORDÃO (2005); WHITE (1999)).

3.8 Cloro e seus derivados

Para a desinfecção de águas residuárias, o cloro pode ser encontrado comercialmente nas formas gasosa (Cl_2), líquida (hipoclorito de sódio) e sólida (hipoclorito de cálcio). O cloro proporciona a inativação efetiva de uma ampla quantidade de patógenos, a permanência de residual de fácil mensuração e controle, simplicidade do sistema, viabilidade econômica independente do tamanho da planta, e

extensivo histórico de utilização com sucesso (GONÇALVES, 2003).

3.8.1 Cloro gás

O cloro molecular (Cl_2) é um gás amarelo esverdeado de densidade maior que o ar à temperatura e à pressão ambiente. Quando comprimido a pressões superiores a sua pressão de vapor, o cloro se condensa em líquido, com conseqüente liberação de calor e redução de volume em cerca de 450 vezes. Essa é a razão pela qual o transporte comercial de cloro usualmente é feito em cilindros pressurizados, que possibilitam substancial redução de volume (GONÇALVES, 2003).

3.8.2 Hipocloritos

O hipoclorito de cálcio e o hipoclorito de sódio são principalmente os mais usados, pois podem ser empregados em pequenas comunidades, piscinas, poços, navios, barcos, hotéis, camping, entre outros (DANIEL, 2001). A quantidade relativa de cloro presente nessas fontes alternativas de cloro é expressa em termos de “cloro disponível” (GONÇALVES, 2003).

Comercialmente, o hipoclorito de cálcio $\text{Ca}(\text{OCl})_2$ é encontrado na forma sólida, em diversas marcas, sendo relativamente estável na forma seca (perda aproximada de concentração igual a 0,013% por dia). Por outro lado, o hipoclorito de sódio é encontrado na forma líquida (solução), em concentrações que usualmente variam de 1% a 16%.

O hipoclorito de sódio (NaOCl) é o produto mais adequado para a cloração em sistemas simples e de pequeno porte, em virtude da facilidade de aplicação em pequenas vazões operacionais, do manuseio e armazenamento e do baixo custo (GONÇALVES, 2003).

Hoje em dia, técnicas de cloração empregam além do cloro gasoso e do hipoclorito de sódio reagentes alternativos como o hipoclorito de cálcio, cloraminas e dióxido de cloro.

3.8.3 Dióxido de cloro

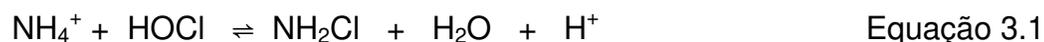
O dióxido de cloro é um gás amarelo descoberto em 1811. Trata-se de um oxidante químico com amplas aplicações na desinfecção de água de abastecimento e também residuárias. O dióxido de cloro foi utilizado pela primeira vez em 1940 e é bastante empregado em países como Itália, Alemanha e Bélgica.

O dióxido de cloro (ClO₂) é um agente oxidante com propriedades bactericidas, esporicidas e virulicidas, podendo ser utilizado no controle da cor e do odor e na oxidação de compostos inorgânicos como o ferro ou manganês (que tiram a qualidade da água). No tratamento de água de abastecimento público ou residuária, o dióxido de cloro pode ser utilizado como desinfetante ou oxidante em ambos os estágios: pré-oxidação e pós-oxidação. (GONÇALVES, 2003).

3.8.4 Cloro Combinado

Quando o cloro entra em contato com substâncias dissolvidas, presente nos esgotos ocorre uma série de reações de dissipação, que resulta na perda de desinfetante ou em mudança em sua forma para uma espécie menos ativa. Dentre essas reações, destacam-se as que ocorrem com alguns compostos de nitrogênio e que resultam na formação das cloraminas. A monocloramina (NH_2Cl) e a dicloramina (NHCl_2), denominadas cloro combinado, tem poder desinfetante, apesar deste ser inferior aos dos produtos resultantes da dissociação de qualquer forma de cloro na água, conhecidos com cloro livre (HOCl e OCl^-)(GONÇALVES, 2003).

Quando a amônia está presente na água ocorre à reação com o cloro para formara cloraminas:



Cada um desses três compostos, monocloramina (NH_2Cl), dicloramina (NHCl_2) e tricloramina (NCl_3), contribuem para o residual de cloro combinado. Essas reações químicas proporcionam o fenômeno do breakpoint, quando águas contendo amônia são cloradas. (veja Figura 3.5). Em águas contendo nitrogênios orgânico e amoniacal, o breakpoint ocorre, mas é menos definido (CHERNICHARO et al (2001) *apud* GONÇALVES (2003)).

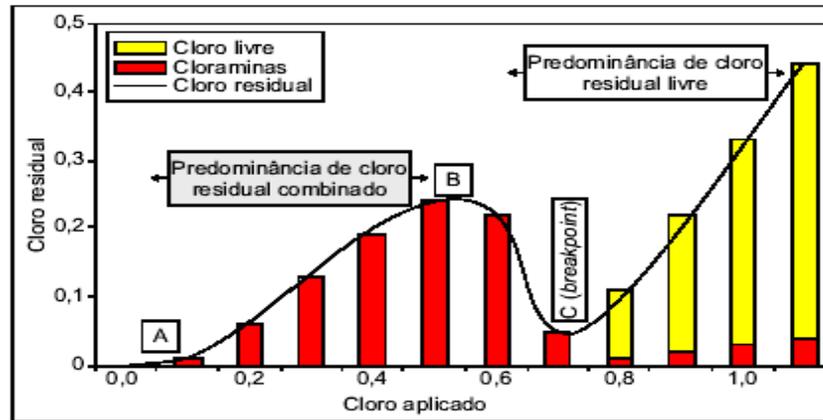


Figura 3.5 – Curva de ação do cloro residual em águas com presença de amônia.
 Fonte: Modificado de GONÇALVES (2003).

De acordo com a figura 3.5 pode-se concluir que a concentração de cloro residual total é a soma de cloro residual livre e cloro residual combinado. Quanto maior é a concentração de cloro residual livre menor é a concentração de cloro residual combinado. Quanto maior é a quantidade de cloro residual combinado formado, menor é a chance de se produzir os chamados trihalometanos, compostos denominados organoclorados e que possuem alto potencial carcinogênico. É preferível a formação das cloraminas por se tratar de substâncias que ajudam na desinfecção. O inconveniente é que esses compostos não deixam um residual na rede assim como os compostos de cloro (gás, líquido ou sólido).

Di Bernardo (1993) cita que o pH exerce influência decisiva nas espécies que se formam quando a dosagem de amônia, o tempo de reação e a temperatura permanecem inalterados. Observam-se uma vez mais aqueles valores de pH para os quais é maximizada a produção de tricloramina, dicloramina ou monoclорamina. Verifica-se que, para valores altos de pH, não há a tricloramina. Na tabela 3.6 são apresentadas as principais propriedades físicas, químicas e termodinâmicas das cloraminas.

Tabela 3.6 Principais propriedades das cloraminas

Parâmetro	Monocloramina	Dicloramina	Tricloramina
Ponto de fusão (°C)	-66	ND	-40
Ponto de ebulição (°C)	(*)	ND	70
Cor	Sem cor	ND	Amarela
pH predominante de formação	7-11	4,4-7,0	<4,4
Relação predominante de Cl ₂ /NH ₃ -N em pH = 7 e temperatura=25°C	<5,0	5,0-7,6	>7,6
Energia de ativação (kcal)	3	7,3	5,2
Constante de equilíbrio a 25°C (M ⁻¹)	1,5x10 ¹⁰	2,3x10 ⁸	1,06x10 ⁹
Comprimento de onda correspondente à absorvância máxima (nm)	243	294	336
Taxa de formação a 25°C (M ⁻¹ s ⁻¹)	2,9x10 ⁶	2,3x10 ²	3,4
Taxa de hidrólise a 25°C(s ⁻¹)	1,9x10 ⁻⁵	6,5x10 ⁻⁷	3,2x10 ⁻⁵

Nota: (*) pode ser explosiva em temperatura ambiente

ND= não detectada

Fonte: DI BERNARDO (1993), citando WATTS (1985); GONÇALVES (2003)

As reações com o nitrogênio orgânico, sempre presente em esgotos em quantidades substanciais (3 a 15 mg L⁻¹), ocorrem de forma mais lenta, originando as organocloraminas. Quanto menor o conteúdo de nitrogênio orgânico, mais eficiente torna-se o processo de desinfecção por cloro. É desejável aplicar o cloro em razão maior que 5:1 em relação ao nitrogênio, pois, favorece a formação de dicloraminas, tricloreto de nitrogênio, N₂ e nitratos (WHITE, 1999).

3.9 Ação desinfetante do cloro

De acordo com Zarpelon e Rodrigues (2001) quando se adiciona cloro na água ocorre a formação de ácido hipocloroso (HOCl) e ácido clorídrico (HCl), resultando na seguinte reação (Equação 3.4):



Para valores de pH acima de 4,0 o equilíbrio se desloca para a direita e a quantidade de Cl_2 que existe em solução é pequena. O ácido hipocloroso sofre ionização praticamente instantânea, formando íon hidrogênio (H^+) e íon hipoclorito (OCl^-), sendo que o grau de ionização depende do pH e da temperatura. (Equação 3.5):



Equação 3.5

A figura 3.6 apresenta os aspectos químicos do cloro em meio aquoso, suas espécies e o pH. Vê-se que o ponto de inflexão acontece em pH 7,5 onde se pode concluir que para valores de pH inferiores a 6,0 predomina o ácido hipocloroso, porém, à medida que a temperatura e o pH se elevam aumenta o grau de ionização do ácido e, conseqüentemente, a concentração do íon hipoclorito. Para valores de pH maiores de 9,6 e a temperatura de 20°C, praticamente todo ácido hipocloroso sofreu ionização. O ácido hipocloroso e o íon hipoclorito são denominados cloro livre.

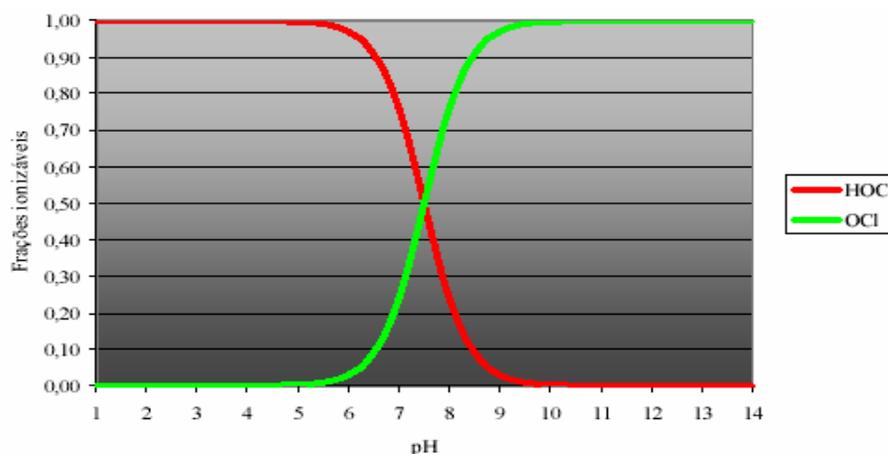
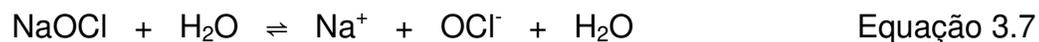


Figura 3.6 - Aspectos químicos do cloro em meio aquoso

Fonte: Modificado de CETESB (1994)

O hipoclorito de sódio (NaOCl) e de cálcio Ca(OCl)_2 também produzem íon hipoclorito, o qual estabelecerá um equilíbrio com o íon hidrogênio (Equação 3.6 e 3.7)

da mesma forma que a equação 3.2.



Na temperatura ambiente, o tempo de reação é de décimos de segundo formando as espécies de ácido hipocloroso (HOCl) e hipoclorito (OCl⁻). A ação desinfetante e oxidante do cloro é controlada pelo ácido hipocloroso, um ácido fraco. Em solução aquosa e valores de pH inferiores a 6,0 a dissociação do ácido hipocloroso é fraca, sendo predominante a forma não-dissociada (HOCl). A forma ClO⁻ predomina em pH 10. As águas de abastecimento, em geral, apresentam valores de pH entre 5 e 10, quando as formas presentes são o ácido hipocloroso (HOCl) e o íon hipoclorito (OCl⁻).

3.10 Ação oxidante do cloro

Ainda de acordo com Macedo (2001) e Zarpelon (2001) o cloro não só é um grande desinfetante eficaz, mas é empregado no tratamento da água também para outros fins como: oxidação de ferro e manganês, remoção de H₂S, controle de odor, cor, sabor, remoção de algas, entre outros.

3.11 Comparação entre algumas técnicas de desinfecção

A técnica de cloração também pode ser comparada a outras técnicas de desinfecção empregadas como a desinfecção por ozônio e por radiação ultravioleta. A tabela 3.7 apresenta algumas considerações técnicas e regulatórias associadas ao uso do cloro comparadas com outras técnicas de desinfecção (ozônio e radiação ultravioleta).

Tabela 3.7 - Propriedades dos Desinfetantes.

Condição	Cloro	Ozônio	Ultravioleta
Produz THM ou outros subprodutos	S	O	N
Produz orgânicos oxidados	O	S	O
Sofre Impacto pela turbidez	N	O	S
Inativa <i>Giárdia</i> - < 2,0 log / > 2,0 log	S / N	S / S	N / N
Inativa <i>Cryptosporidium</i> - > 2,0 log	N	S	N
Inativa Vírus - > 2,0 log	S	S	S
Desinfetante Secundário	S	N	N
Qualificação do Operador (1=baixo; 5=alto).	1	5	3
Aplicável em grande escala	S	S	N
Aplicável em pequena escala	S	S	S

S = sim, N = não, O = ocasionalmente.

Fonte: adaptado de WHITE (1999).

Uma desvantagem do processo de desinfecção com cloro é a formação de compostos denominados trihalometanos e que será discutido melhor posteriormente. Com relação à formação de subprodutos advindos do ozônio pode-se citar a grande dificuldade prática de identificar e quantificar compostos individuais em baixas concentrações em uma matriz complexa como o efluente, há uma escassez de informações quanto aos subprodutos formados pela ozonização. Porém, o que sabe é que pela reação entre o ozônio e os constituintes do esgoto são formados aldeídos e ácidos carboxílicos, além desses compostos, a ozonização de efluentes

secundários e terciários provoca aumento da concentração de ácidos graxos de cadeia curta, álcoois, alcanos, cetonas e aminoácidos livres. (CAMEL & BERMOND (1998); PARESKEVA & GRAHAM (2002), *apud* ASSIRATI (2005)).

De acordo com Gonçalves (2003), os subprodutos da ozonização de compostos orgânicos são, em geral, espécies químicas mais polares e menos voláteis, odorosas e tóxicas que as espécies originais.

3.12 Parâmetros do processo

3.12.1 Dosagens de cloro requeridas

As dosagens de cloro requeridas para a desinfecção dependem de uma série de fatores, notadamente das características do esgoto. Nesse sentido, usualmente são desenvolvidos estudos de laboratório para determinar as concentrações ótimas de cloro, a fim de atingir uma determinada eficiência de desinfecção (GONÇALVES, 2003) e também é muito influenciada pelo ponto de aplicação, sendo mais elevada em processo de pré-cloração do esgoto bruto e mais moderada em esgotos tratados (CHERNICHARO, 2001), como ilustra a Tabela 3.8.

Tabela 3.8 - Dosagens típicas de cloro para desinfecção de esgotos brutos e tratados, para Padrão de Lançamento de 1.000 NMP 100 mL⁻¹ de coliformes fecais.

Aplicação	Cloro e seus compostos (a)	Hipoclorito (mg L⁻¹)	Dióxido de cloro (mg L⁻¹)
		PROSAB 3 [*]	PROSAB 3 [*]
Esgoto Bruto (pré-cloração)	15 a 40	-	-
Efluente Primário	10 a 30	-	-
Efluente de tratamento físico-químico	4 a 8	-	-
Efluente anaeróbio	-	6 a 13	-
Efluente de filtros biológicos percolados	3 a 10	4 a 9	-
Efluente de lodos ativados	2 a 10	6 a 13	2 a 4
Efluentes de lagoa de estabilização	-	6 a 13	4,5
Efluente filtrado (após tratamento em lodos ativados)	1 a 5	-	-
Efluente de tratamento físico-químico (após tratamento anaeróbio)	-	-	3 a 5

Fonte: (a) Metcalf & Eddy (2003) e adaptado de GONÇALVES (2003)
 PROSAB 3^{*} : Programa de Saneamento Básico. Edital 3

A determinação da dosagem de cloro e o projeto das instalações de desinfecção dependem de metas a serem atingidas, em função das diretrizes estabelecidas pela legislação ambiental. O sistema de desinfecção pode ser projetado em função do residual de cloro livre a ser mantido no efluente final ou em função do número máximo de organismos indicadores (usualmente coliformes fecais) admitido para o efluente final (GONÇALVES, 2003). A tabela 3.9 apresenta a demanda de cloro estimada para 15 minutos de contato em miligramas por litro.

Tabela 3.9 – Demanda de cloro estimada para 15 minutos de contato em miligramas por litro.

Esgoto doméstico bruto	12 – 15
Efluente primário	12 – 16
Efluente de biofiltro (secundário)	4 – 8
Efluente secundário bem oxidado	3 – 8
Efluente de filtro de multimídia	3 – 6
Efluente de filtro lento de areia	2 – 4
Efluente filtrado nitrificado	2 – 10
Efluente de tanque séptico	30 – 35

Fonte: adaptado de WHITE (1999)

3.12.2 Tempo de Contato

Para a efetividade da inativação de microrganismos, o tempo de contato entre cloro e esgoto não deve ser menor que 30 minutos. Tempos superiores a 60 minutos, por outro lado, devem ser evitados no caso de desinfecção de esgotos com concentração de nitrogênio orgânico superior a $5,0 \text{ mg L}^{-1}$, tendo em vista que nessas condições as monocloramias hidrolisadas podem se converter em organocloraminas com baixa capacidade germicida (WHITE, 1999).

3.12.3 Inativação de patógenos

De acordo com Gonçalves (2003) e Jordão (2005) pesquisas têm mostrado que o cloro é capaz de produzir efeitos letais na membrana celular das bactérias e afetar adversamente a respiração celular e o DNA. O cloro penetra nas células dos microrganismos e reage com suas enzimas, destruindo-as. As enzimas são um

complexo de proteínas funcionando como catalisadores orgânicos em reações químicas dos microorganismos novos. Como são essenciais aos processos metabólicos das células vivas, estas, sem a ação das enzimas, morrem.

A ordem geral de dificuldade de inativação de microrganismos através de desinfecção por cloro é: bactérias, vírus e protozoários. O cloro é um desinfetante extremamente eficiente para inativação de bactérias, como *E. coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Salmonella typhi*, e *Shigella dysenteriae*, apresentando também alto poder virulicida. Tem, entretanto, sucesso limitado na inativação de protozoários. Dados obtidos em um estudo efetuado em 1984 indicaram que de cistos de *Giardia* são duas vezes mais resistentes ao cloro que enterovírus e três vezes mais resistentes que enterobactérias (HOFF et al, 1984, *apud* USEPA, 1999).

3.13 Cinética da desinfecção – Modelo de Selleck - Collins

A desinfecção de esgotos por meio de cloração foi modelada por Selleck no ano de 1970, (WHITE, 1999), a partir de estudos em escala piloto com efluentes de decantador primário. Posteriormente, a equação proposta foi confirmada por diversos autores. Relaciona a redução de coliformes com a concentração de cloro residual ao final do processo, sendo necessárias boas condições de mistura no ponto de aplicação e que não ocorram curtos-circuitos ao longo do tanque. A medida de eficiência de desinfecção é dada pelo fator CT, definido como o produto entre a concentração residual de desinfetante no esgoto, em mg L^{-1} , e o tempo de contato, em minutos (USEPA, 1999), que é expressa como a razão logarítmica de redução entre a contagem inicial e final do organismo indicador. A eficiência de desinfecção deve corresponder a uma contagem final máxima de microrganismo no efluente e não apenas à porcentagem de redução, visto que esta pode levar a resultados díspares conforme a

contagem inicial. O modelo matemático é apresentado abaixo através da equação:

$$\frac{N}{N_0} = [1 + 0,23 \times C \times t]^3 \quad \text{Equação 3.8}$$

Onde:

$\frac{N}{N_0}$ razão entre coliformes finais (NMP 100 mL⁻¹) e coliformes iniciais (NMP 100 mL⁻¹);

C = cloro residual, mg L⁻¹, ao fim do tempo de contato t;

t = tempo de contato em minutos.

Um fator importante que provoca interferência na cinética de processos de desinfecção é o fenômeno de “clumping”, que ocorre quando efluentes de baixa qualidade são desinfetados. Os agregados de matéria orgânica protegem os microrganismos do efeito da desinfecção. Quando estes agregados são desfeitos, por exemplo, após a passagem por uma bomba, microrganismos em grandes quantidades são liberados. Este conceito é de grande preocupação para a saúde pública e uma confirmação de que esgoto bruto e efluentes primários não devem ser submetidos ao processo de desinfecção (WHITE, 1999).

3.14 Toxicidade de residual de Cloro

Alguns estudos realizados sobre a toxicidade de residuais de cloro à vida aquática de corpos receptores (USEPA Report 600/3-75-012, 1975) foram investigados sistemas de desinfecção por cloro e ozônio capazes de produzir efluente com níveis de coliformes menores que 10³ NMP 100 mL⁻¹. Em efluentes contendo uma grande quantidade de nitrogênio amoniacal o efluente clorado revelou-se mais letal a peixes e também para os invertebrados em relação ao efluente ozonizado ou o clorado-

desclorado. O valor do cloro residual necessário para provocar a morte de 50 peixes variou entre 0,08 e 0,26 mg L⁻¹. Para invertebrados esse valor foi de 0,21 a 0,81 mg L⁻¹ (WHITE, 1999).

3.15 Formação de subprodutos potencialmente prejudiciais à saúde humana

Compostos organoclorados formados pela reação da matéria orgânica com o cloro apresentam risco potencial à saúde pública quando aparecem em águas potáveis. A natureza carcinogênica de vários desses compostos tem sido demonstrada através de sua aplicação em altas concentrações em animais de laboratório. Entretanto, ainda não foi estabelecida uma relação direta de causa e efeito com câncer em humanos. Apesar disso, considera-se prudente que se adotem práticas que reduzam ou eliminem a formação destes compostos (WHITE, 1999).

Recentemente descobriram-se subprodutos da utilização de cloro, na pré-desinfecção ou na desinfecção, principalmente nas formas onde seu equilíbrio em água promove a formação de cloro livre que associados a precursores como os ácidos húmicos, ácidos fúlvicos, brometos ou algas e em certas condições de pH e temperatura formava diversos compostos classificados como trihalometanos. Essas substâncias possuem átomos da família 17 ou 7 A – denominados halogênios – ligados em sua molécula. Os trihalometanos mais comuns são: triclorometano (clorofórmio), bromodiclorometano, dibromoclorometano e tribromometano (bromofórmio).

3.15.1 Definição do composto denominado trialometanos

Os trialometanos (THM) são compostos de carbono simples, substituídos por halogênios e possuem a fórmula geral CHX_3 onde X pode ser cloro, bromo, possivelmente iodo, ou combinações a partir dos mesmos, a Tabela 3.10 apresenta quais são as possíveis combinações para a formação dos THM's (SYMONS, 1981).

Tabela 3.10 - Fórmulas dos trialometanos

Fórmula Química	Denominações
$CHCl_3$	Triclorometano, Clorofórmio
$CHBrCl_2$	Bromodiclorometano
$CHBr_2Cl$	Dibromoclorometano
$CHBr_3$	Tribromometano, Bromofórmio
$CHCl_2I$	Dicloroiodometano
$CHClBrI$	Bromocloroiodometano
$CHClI_2$	Clorodiodometano
$CHBr_2I$	Dibromoiodometano
$CHBrI_2$	Bromodiodometano
CHI_3	Triiodometano, Iodofórmio

Fonte: Adaptado de SYMONS (1981)

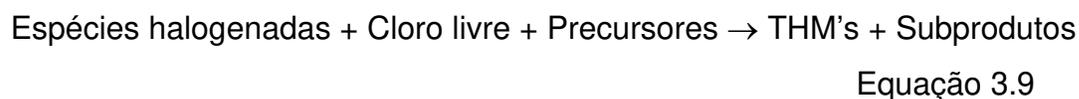
3.15.2 Trialometano - Histórico

No início da década de 70, descobriu-se que o clorofórmio e outros trialometanos eram produzidos durante a cloração da água. Esta informação revestiu-se de grande importância em virtude da conclusão de um bioensaio sobre a carcinogenicidade do clorofórmio realizado pelo "*National Cancer Institute*". O resultado positivo para esse bioensaio levou, rapidamente, ao estudo de um valor limite de concentração máxima aceitável para esses compostos e, em 1979 a agência de proteção ambiental dos Estados Unidos (Environmental Protection Agency - EPA) aconselhou que o limite máximo para os trialometanos totais (clorofórmio + bromodiclorometano +

dibromoclorometano + bromofórmio) deveria ser de $0,1 \text{ mg L}^{-1}$ na água para consumo humano (TOMINAGA, 1999). Em 1989 a Usepa reduziu para $0,08 \text{ mg L}^{-1}$.

3.15.3 Reações de Formação dos trialometanos

Segundo Symons (1981) a reação genérica (equação 3.9) para a formação de trialometanos é dada abaixo:



Em aproximadamente 70% das ETAs, o TCM (triclorometano ou clorofórmio) representa 80% da concentração total do trialometanos (TTHM). Entretanto, o tribromometano é raramente detectado, e o dibromoclorometano nunca contribuiu com mais de 3% (MACÊDO et al, 1983; SANTOS, 1989).

3.15.4 Níveis permissíveis de trialometanos

Pelas circunstâncias observadas a Agência de Proteção Ambiental (EPA) abaixou o limite máximo permissível de $0,1 \text{ mg L}^{-1}$ ($100 \mu\text{g L}^{-1}$) para $0,08 \text{ mg L}^{-1}$ de THM nas águas de abastecimento e, no Brasil somente com a portaria 36/90 aprovada pelo Ministério da Saúde, é que se determinou o valor máximo permissível, portanto, o nível de segurança assumido pela Organização Mundial da Saúde é de $100 \mu\text{g L}^{-1}$ para concentração de THM totais. Esse valor continua a ser utilizado como parâmetro da portaria CONAMA 518/2004.

Quando a Agência de Proteção Ambiental (EPA) dos EUA fixou este limite, do clorofórmio e outros trialometanos na água para consumo humano, agiu dentro de uma filosofia que levou em conta a possibilidade potencial da substância estar ocasionando danos à saúde das pessoas submetidas a uma exposição crônica por toda uma vida gerada pela ingestão de clorofórmio, mesmo à baixa concentração.

3.15.5 Causa de Doenças

A relação entre o uso de cloro nas estações de tratamento de água, suas reações com os compostos orgânicos presentes e a formação de compostos que poderiam ter efeitos negativos sobre a saúde humana foi estudada pela primeira vez por R. H. Harris, na década de 70 (SANTOS, 1989).

Com relação a sua toxicidade, esta se refere principalmente ao clorofórmio, por ser o composto mais estudado e encontrado em maior concentração que os demais. É provável que os outros compostos halogenados do mesmo grupo tenham efeitos similares (OPAS, 1987).

3.15.6 Doenças causadas pela exposição aos trialometanos

Estudos experimentais indicam que a exposição ao clorofórmio, por inalação, durante um banho de ducha de 8 minutos, pode ser até 6 vezes maior do que pela ingestão da mesma água durante um período de 24 horas. A água de piscina clorada é uma outra importante fonte de exposição aos THM's.

Estudos realizados no Canadá considerando a cloração de água bruta (WIGLE *apud* SANTOS, 1989) indicaram uma associação entre a dosagem de cloro e o câncer de estômago, e entre a quantidade de carbono orgânico (COT, indicador de THM) e o câncer do intestino grosso em homens. Também houve associações positivas entre o clorofórmio na água tratada e o risco de morte por câncer de cólon (homens e mulheres), câncer de estômago, entre dosagem de cloro e câncer retal (homens e mulheres) e câncer de tórax.

Para mulheres também houve associação entre dosagem de cloro ou água clorada sujeita a contaminação por substâncias orgânicas e câncer do cólon e cérebro. O clorofórmio induz ao câncer de fígado, tiróide e rins em ratos e camundongos, mas associações significantes não foram observadas no homem.

Investigações recentes assinalaram uma correlação positiva entre os níveis de clorofórmio na água e os carcinomas da bexiga e do intestino baixo. Mas vale salientar que esses estudos são indicativos, mas não conclusivos para a formação de carcinomas.

3.16 Descloração

O impacto do cloro livre ou combinado em corpos d'água ou no solo (irrigado), resultante da desinfecção de efluentes, têm sido controlado por padrões ambientais. Pelas regras da Resolução CONAMA 357/05, o padrão ambiental é de 0,010 mg L⁻¹ de cloro residual total (livre + combinado) para proteção da vida aquática. Nos Estados Unidos, 47% dos sistemas de tratamento de efluentes praticam a descloração com compostos químicos, sendo os principais: dióxido de enxofre (62%), sulfito de sódio (27%), sulfato de sódio (3%), metabissulfito de sódio (3%) e o tiosulfato de sódio (2%). Outros compostos testados são sulfitos amoniacais. Para a descloração do

cloro livre (Cl_2), pode-se, também, empregar carvão ativado e peróxido de hidrogênio, com a vantagem de controlar odores, como mostra a tabela 3.11 (Gonçalves, 2003).

TABELA. 3.11 – Principais agentes desclorantes e dosagens

Agente desclorante		Dosagem ($\text{mg mg}^{-1} \text{L}^{-1} \text{Cl}_2$ residual)	
Nome	Fórmula	Razão Estequiométrica	Faixa de uso
Dióxido de enxofre	SO_2	0,903	1,0-1,2
Sulfito de sódio	Na_2SO_3	1,775	1,8-2,0
Bissulfito de sódio	NaHSO_3	1,465	1,5-7
Metabissulfito de sódio	$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$	1,338	1,4-1,6
Tiosulfato de sódio	$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	0,556	0,6-0,9

Fonte: Gonçalves (2003)

Muitos dos agentes desclorantes, principalmente SO_2 e sulfitos podem provocar irritação no trato respiratório superior e alguma neurotoxicidade a altas concentrações inaladas. A desinfecção por cloração está situada no final do tratamento secundário.

3.17 Aspectos relativos à operação e à manutenção de sistemas utilizando cloração como método de desinfecção

Em unidades de desinfecção que utilizam cloro gasoso e hipoclorito é necessário tomar algumas medidas de segurança para se obter um bom funcionamento das estações de tratamento. Em instalações que utilizam cloro gasoso, as principais preocupações com segurança e saúde ocupacional são relacionadas à possibilidade de vazamentos de cloro a partir dos cilindros, válvulas ou tubulações. A concentração limite que o operador pode ficar exposto ao cloro é de 1 ppm, em volume, tomada como média ponderada de um período de 8 horas. Outras concentrações de interesse para o cloro, no ambiente, são apresentadas na tabela 3.12 é interessante notar que o nível mínimo de odor detectado pelo ser humano (3,5 ppm) é maior que o limite máximo

estabelecido para a segurança do operador (1 ppm). Dessa forma, a unidade de desinfecção deve dispor de algum dispositivo, químico ou eletrônico, para o monitoramento contínuo de cloro no ambiente (GONÇALVES, 2003).

Tabela 3.12 – Concentrações de cloro na fase gasosa e seus efeitos

Concentração (ppm v/v)	Resposta
3,5	Percepção mínima de odor
4,0	Efeito adverso sem gravidade
15,1	Irritação da garganta
30,2	Tosse
40 a 60	Nível de perigo

Fonte: Adaptado de Gonçalves (2003) citando Chernicharo et al (2001) e Usepa (1986).

Caso ocorra algum contato com o cloro, seja por inalação, olhos ou pele, decorrente de vazamentos, podem ser tomadas algumas medidas de emergência indicadas na tabela 3.13 antes de consultar um médico.

Tabela 3.13 – Procedimentos de emergência a serem tomados em decorrência de contato com o cloro

Tipo de contato	Procedimento
Geral	Retirar a pessoa do local e levá-la para uma área não contaminada. Remover a roupa contaminada e lavar, com água, todas as partes do corpo expostas ao cloro.
Inalação	Se a respiração estiver interrompida, proceder à respiração artificial. Quando a respiração for retomada, ou se a respiração não tiver sido interrompida, administrar oxigênio. Mantenha a pessoa aquecida e em repouso.
Contato com os olhos	Os olhos devem ser lavados com água durante 15 minutos, segurando as pálpebras abertas para garantir a completa irrigação dos mesmos.
Contato com a pele	Lavar as partes que foram expostas ao cloro com água e sabão. É recomendável que a instalação disponha de uma ducha de emergência.

Fonte: Adaptado de Gonçalves (2003) citando Chernicharo et al (2001) e Usepa (1986).

Quanto às questões de manutenção, um programa detalhado deve ser implementado na estação, segundo as frequências de inspeção recomendadas pelos fabricantes dos equipamentos, com o intuito de garantir a segurança da estação e a eficiência do processo de desinfecção. A manutenção de documentação completa e atualizada das tarefas e das análises efetuadas é de fundamental importância para garantir que as tarefas, as frequências e os procedimentos sejam registrados, possibilitando verificar as tendências históricas e as comparações entre distintos períodos de operação (GONÇALVES, 2003).

3.18 Custos para implantação da cloração

Custo é um entre muitos fatores para avaliação dos vários métodos de desinfecção. O método que irá predominar é aquele em que a desinfecção ocorra facilmente, tenha riscos de saúde e segurança mínimos, seja de fácil aplicação, medida e controle, e que os equipamentos sejam de operação fácil e confiável. A tabela 3.14 apresenta custos de capital e de operação de diversos sistemas de desinfecção.

Tabela 3.14 – Custos de capital e de operação de diversos sistemas de desinfecção

Processo	Tamanho da Planta (m ³ 10 ³ dia)*					
	3,79	37,85	378,54	3,79	37,85	378,54
	Custo de Capital (US\$x1000)			Custo de Desinfecção (centavos/m ³)		
Cloro	60	190	840	0,92	0,38	0,18
Cloração/descloração***	70	220	930	1,15	0,46	0,24
Cloro/Carvão ativado	640	2800	8400	5,02	2,27	0,87
Ozônio (ar) **	190	1070	6880	1,93	1,06	0,75
Ozônio (O ₂)**	160	700	4210	1,89	0,92	0,62
Ultravioleta**	70	360	1780	1,11	0,71	0,60

*Unidades originais MGD. ** Tratamento terciário não incluído nestes custos

*** Sistema que utiliza o SO₂ como desclorante

Fonte: adaptado de WHITE (1999).

Percebe-se que o método de desinfecção que utiliza cloração e cloração/descloração são os que apresentam menor custo de implantação e custo da desinfecção por m³. Por essa razão, os métodos que utilizam o cloro como desinfetantes são os mais utilizados até hoje. Pesquisas estão sendo feitas para que se utilizem desinfetantes alternativos, como ozônio, radiação ultravioleta, porém, o que se vê é que esses sistemas têm um maior custo de implantação.

Pesquisas recentes da rede PROSAB apontam alguns números com relação a sistemas de desinfecção implantados no Brasil. A tabela 3.15 apresenta custos de implantação e de operação para processos de desinfecção.

Tabela 3.15 Custos de implantação e de operação para processos de desinfecção

Desinfecção	População hab.	Vazão L.s⁻¹	Custo de implantação R\$	Custo unit. de implant. R\$/hab.	Custo de operação R\$/m³
Cloro gasoso ⁽¹⁾	71.000	137	270.000,00	3,80	0,012
Cloro gasoso ⁽²⁾	124.000	310	600.000,00	4,83	0,024
Hipoclorito de sódio ⁽³⁾	41.380	88	230.000,00	5,55	0,078
Hipoclorito de sódio ⁽⁴⁾	14.425	40	210.000,00	14,56	0,089
Dióxido de cloro ⁽⁵⁾	5.844	10	273.674,00	46,83	0,108
Radiação UV ⁽⁶⁾	5.844	10	128.433,00	21,98	0,034
Ozônio ⁽⁷⁾	10.000	18,5	181.120,00	18,11	0,091

(1) após UASB + FB;(2) após UASB + FB;(3) após UASB + F An.;(4) após UASB + Lagoa;(5) após UASB + FAD;(6) após UASB + FB.

Fonte: Gonçalves (2003).

Percebe-se que sem dúvida nenhuma os processos que utilizam o cloro gasoso têm um menor custo por habitante e de operação. A vantagem de se utilizar o cloro gasoso é no sentido de se poder implantá-lo tanto para pequenas comunidades quanto para cidades com população superior a 100 mil habitantes. O sistema que utiliza o dióxido de cloro é o mais caro para implantação e seu custo de operação é superior a 0,1 reais por metro cúbico.

MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados no Laboratório de Protótipos Aplicado ao Tratamento de Águas e Efluentes e no Laboratório de Saneamento da Faculdade de Engenharia Civil. Utilizou-se esgotos coletados da Estação de Tratamento de Esgotos Icaraí, em Campinas, São Paulo, administrada pela Concessionária SANASA e de uma lagoa anaeróbia, denominada Paulistano II, de Franca, São Paulo, administrada pela Concessionária SABESP.

Basicamente, o esgoto advindo da ETE Icaraí sofria um processo preliminar de tratamento composto por dois módulos (cada módulo com um tanque séptico e um filtro anaeróbio) e, em seguida, ao ser coletado era aplicado em uma vala de filtração, cuja construção é recomendada por CORAUCCI FILHO et al (2000). Por outro lado, o esgoto proveniente da Lagoa Anaeróbia sofria o tratamento em 3 células em série compostas por lagoas anaeróbia/facultativa/maturação, ao final da lagoa anaeróbia o efluente era coletado.

A desinfecção foi efetuada utilizando um equipamento para ensaio de JAR TEST como câmara de contato entre o hipoclorito de cálcio e o efluente. Foi avaliado uma série de parâmetros físicos, químicos e microbiológicos, antes e após a desinfecção: cloro residual livre, total e combinado, pH, temperatura, condutividade, alcalinidade parcial e total, cor aparente e verdadeira, turbidez, nitrato, nitrito, nitrogênio amoniacal e orgânico, DQO bruta e DQO filtrada, fósforo total, OD, sólidos totais, totais fixos e totais voláteis, sólidos suspensos totais, sólidos suspensos fixos e voláteis, além de coliformes totais, *E. coli*, helmintos e protozoários.

O produto desinfetado foi estudado para ser utilizado para irrigação de uma cultura de milho e, portanto, atender os padrões estabelecidos pela CONAMA 357/05 e pela OMS (1989) para uso em culturas agrícolas e descargas em corpos receptores de classe 2 - *E.coli* $\leq 10^3$ NMP 100 mL⁻¹ e Helmintos ≤ 1 ovo L⁻¹.

4.1 Efluentes desinfetados

Dois tipos de efluentes de ETE foram desinfetados com hipoclorito de cálcio: efluentes de lagoa anaeróbia proveniente da cidade de Franca/SP – administrada pela Concessionária SABESP e efluentes de uma vala de filtração proveniente de uma Fossa Filtro, administrada pela SANASA – Campinas/SP. Algumas informações sobre os sistemas de tratamento prévio à desinfecção serão apresentados na tabela 4.1.

Tabela 4.1 Sistemas de tratamento prévio à desinfecção

Sistema de Tratamento	Lagoa Anaeróbia	Vala de filtração
Característica Construtiva	Convencional	Altura da camada de areia: 0,25; 0,50 e 0,75m. Diâmetro efetivo de 0,183 mm e coeficiente de uniformidade (U) de 2,514.
Alimentação	Esgoto Bruto	Efluente proveniente da fossa filtro
Vazão e Taxas Hidráulicas/Tempo Det.	17,05 L.s ⁻¹ /3,2 dias	40; 60; 80 e 100Lm ⁻² dia ⁻¹
Frequência de aplicação	Contínua	Contínua
Remoção Natural de Patógenos (Coliformes totais)	10 ⁶ < CT < 10 ⁸ 10 ⁴ < <i>E.coli</i> < 10 ⁷ NMP 100mL ⁻¹	10 ⁴ < CT < 10 ⁶ 10 ³ < <i>E.coli</i> < 10 ⁵ NMP 100mL ⁻¹
Aspecto		

A lagoa anaeróbia, denominada Paulistano II, proveniente da Estação de Tratamento de Esgotos administrada pela SABESP da cidade de Franca estado de São Paulo, é operada com tempo de detenção hidráulica de 3,2 dias e recebendo vazão de 17,05 L s⁻¹. A cidade de Franca tem cerca de 307.000 habitantes onde 100% do esgoto produzido é tratado.

A lagoa anaeróbia – Paulistano II – tem todo seu esgoto de origem doméstica. O sistema de tratamento utilizado é composto com 3 células em série, sendo formado por lagoa anaeróbia, seguida de lagoa facultativa e de maturação. Após o efluente passar por esse sistema de tratamento ele é lançado no córrego Palestina classificado com classe 2.

Ainda com relação à cidade de Franca/SP, existem mais 5 sistemas de tratamento de esgotos por lagoas, são elas: Paulistano I, Palestina, São Francisco, City Petrópolis e Aeroporto. Uma estação de tratamento principal que é a ETE Franca que trabalha com lodos ativados convencional e uma estação de tratamento de esgotos que é a ETE Luiza que trabalha utilizando o processo de aeração prolongada. A figura 4.1 apresenta uma vista geral da lagoa anaeróbia – Paulistano II.



Figura 4.1 - Vista geral da lagoa anaeróbia – Paulistano II.

Onde: LA – lagoa anaeróbia; LF – lagoa facultativa; LM – lagoa maturação.

As valas de filtração recebem o efluente proveniente da Estação de Tratamento de Esgoto - ETE Icaraí, em Campinas, São Paulo, administrada pela concessionária, Sociedade de Abastecimento de Água e Saneamento S.A. (SANASA).

O sistema de tratamento empregado nesta estação é composto por 2 módulos (cada módulo com um tanque séptico e um filtro anaeróbio). O tempo de detenção hidráulico deste sistema é de 12 horas e a vazão média é de $2,3 \text{ L s}^{-1}$. Os tanques sépticos e os filtros anaeróbios foram projetados seguindo as recomendações da norma NBR 7229 (1993), tendo as seguintes especificações:

- Tanque séptico: Diâmetro de 7 m, profundidade total de 6,08 m, profundidade útil 5,68 m e volume 134,75 m³;
- Filtro anaeróbio: diâmetro 8,10 m; profundidade total de 2,80 m, profundidade útil de 2,40 m, volume 92,40 m³, camada de brita 4 (meio suporte) de 1,20 m e fundo falso de 0,60 m.

O esgoto bruto que chega à estação é proveniente de dois bairros residenciais denominados Jardim Icarai e Parque Residencial Carvalho e Moura, com uma população atendida de aproximadamente 1500 habitantes. A Estação está localizado na bacia hidrográfica do Rio Capivari e o corpo receptor é o Córrego São Vicente. A figura 4.2 apresenta uma vista geral da Estação de Tratamento de Esgotos Jardim Icarai, onde foi feita a coleta do esgoto bruto e afluente.



Figura 4.2: Vista geral da Estação de Tratamento de Esgotos - Jardim Icarai

A figura 4.3 mostra em detalhe a caixa de distribuição de esgotos onde é dividido nos dois módulos apresentados na figura anterior.



Figura 4.3 – Detalhe da caixa de distribuição de esgoto da ETE Icarai

Após este tratamento na ETE Icarai, uma pequena parcela do efluente anaeróbio é coletado e transportado até o Laboratório de Protótipos da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, UNICAMP, onde foi instalado o sistema de valas de filtração. Este sistema foi constituído de três caixas de fibra de vidro com visor em acrílico, seguindo o modelo utilizado por CORAUCCI FILHO et al (2000) que foi baseada na norma NBR 7229 (1993). Veja figura 4.4.

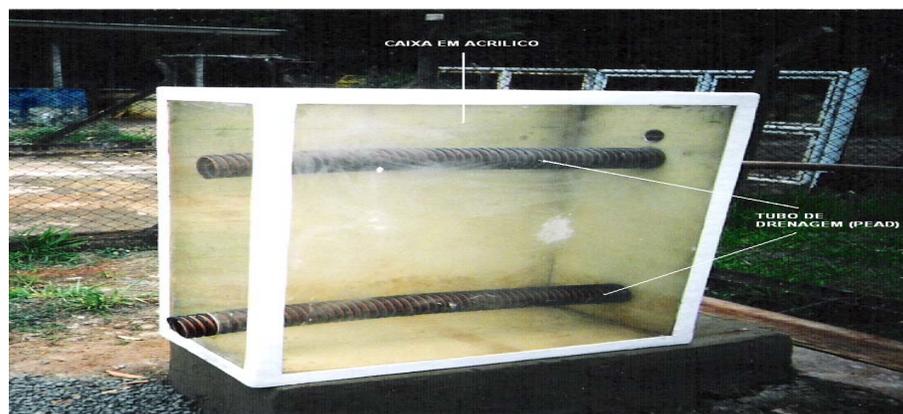


Figura 4.4 – Vista da caixa de acrílico e os tubos de drenagem (PEAD).

A figura 4.5 apresenta em detalhe uma vala de filtração de acordo com NBR 13969 (1997) e SOUZA JÚNIOR (2006).

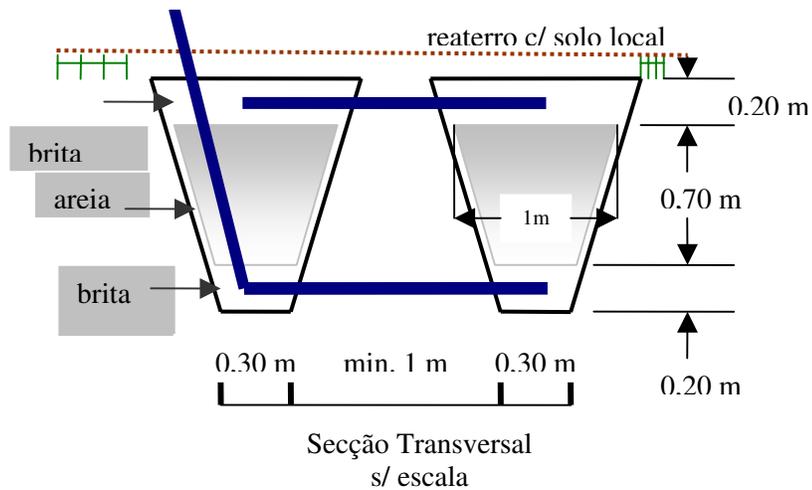


Figura 4.5: Valas de filtração em secção transversal

Fonte: Adaptado da norma NBR 13969 (1997) e SOUZA JÚNIOR (2006)

As valas de filtração foram montadas na área externa do Laboratório de Protótipos Aplicado ao Tratamento de Águas e Efluentes da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, da Universidade Estadual de Campinas. A figura 4.6 apresenta as valas de filtração de 0,75; 0,50 e 0,25m de camada de areia.



Figura 4.6 Valas de filtração e suas respectivas alturas 0,75; 0,50 e 0,25 m de areia.

4.2 Arranjo experimental

4.2.1 Desinfecção

A desinfecção ocorreu utilizando um equipamento para ensaio de JAR TEST como câmara de contato entre o efluente e o hipoclorito de cálcio. A figura 4.7 ilustra a desinfecção utilizando o equipamento para ensaio de JAR TEST.

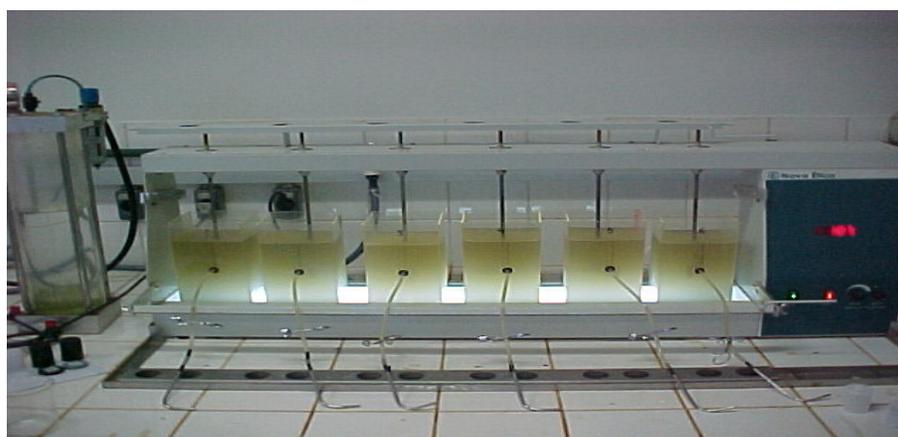


Figura 4.7 – Ilustração da desinfecção utilizando o equipamento para ensaio de JAR TEST.

Os parâmetros de processo que foram obedecidos a fim de se obter os resultados propostos no objetivo geral foram:

- Agitação lenta – em torno de 80 – 100rpm;
- Tempo de contato estudado de 30,45 e 60 minutos;
- Dosagens específicas para os diferentes tipos de efluentes.

4.2.2 Dosagens de hipoclorito de cálcio aplicadas

A princípio, as dosagens aplicadas foram de 6, 9, 12, 15 e 18 mg L⁻¹ de hipoclorito de cálcio para o efluente da lagoa anaeróbia. Escolheu-se essas dosagens, pois de acordo com Gonçalves (2003), dosagens de hipoclorito de cálcio entre 6 e 13 mg L⁻¹ eram suficientes para atingir as normas estabelecidas pela CONAMA 357/05 e OMS (1989). Com o decorrer do tempo e de estudos, dosagens maiores de hipoclorito de cálcio foram necessárias. Portanto, as dosagens de hipoclorito de cálcio estudadas para a lagoa anaeróbia foram: 6, 9, 12, 15, 18, 21, 25, 28 e 32 mg L⁻¹.

Para as valas de filtração, as dosagens estudadas partiram do princípio de 4 e 6 mg L⁻¹, a análise dos resultados de coliformes fecais e totais do efluente desinfetado mostraram um número muito pequeno de microrganismos, tendo exterminado todos eles, dosagens menores foram estudadas no sentido de se economizar reagente e obter resultados esperados de acordo com as normas. Portanto, foram estudadas dosagens de hipoclorito de cálcio de 1,60 e 3,25 mg L⁻¹ para os efluentes das valas de filtração. A equação 4.1 é utilizada para se obter a massa de hipoclorito de cálcio a ser utilizada de acordo com a dosagem requerida conforme CETESB (1994).

$$P = \frac{C \cdot L}{\%B.10} \quad \text{Equação 4.1}$$

Onde:

P = gramas do composto de cloro

C = mg L⁻¹ de cloro livre desejado na água a ser desinfetada

L = volume de água a ser desinfetada (L)

% B = % cloro livre do produto comercial escolhido para emprego.

4.2.3 Planejamento experimental dos ensaios de desinfecção

Os ensaios de desinfecção tiveram como objetivo principal atender as normas estabelecidas para uso do efluente na agricultura. Com relação ao efluente da lagoa anaeróbia, as análises foram realizadas a fim de se estabelecer a melhor dosagem de hipoclorito de cálcio e o melhor tempo de contato entre o desinfetante e o efluente. Foram estudadas a possibilidade da desinfecção com ou sem a etapa de descloração.

Os ensaios começaram com o efluente da lagoa anaeróbia onde por algum tempo foi monitorado as características físicas, químicas e microbiológicas do efluente da lagoa anaeróbia para escolha do melhor efluente, esses ensaios ocorreram no período de agosto a outubro de 2005.

Na tabela 4.2 estão sumarizadas as condições adotadas para o ensaio de desinfecção para o efluente da lagoa anaeróbia. Foi analisado um total de 92 amostras, antes e após a desinfecção para o efluente da lagoa anaeróbia.

Vale ressaltar que, por não se tratar de dosagens de hipoclorito de cálcio conhecidas foi necessário testar várias dosagens. Não houve repetição de análises, num mesmo dia, por se tratar de um efluente que estava em outra cidade e de difícil acesso.

Entre os intervalos de tempo que o efluente da lagoa anaeróbia não era trazido até a Unicamp para os ensaios, eram estudadas as características das valas de filtração.

A coleta do efluente da lagoa anaeróbia ocorreu em Franca nas segundas-feiras no período da manhã, foram armazenadas em bombonas de 20L de capacidade e colocadas em geladeira até a manhã de terça-feira onde foram trazidas até a Unicamp. A desinfecção ocorreu sempre no período da tarde.

Tabela 4.2 Esquema dos ensaios de desinfecção para efluente da lagoa anaeróbia.

Data	Doses aplicadas (mg L ⁻¹)	Tempo de contato (min)	Informações adicionais
30/08/05 – 22/11/05	-	-	Estudo, monitoramento e caracterização do efluente da lagoa anaeróbia.
29/11/05	-	-	Caracterização em triplicata no efluente escolhido lagoa anaeróbia.
12/12/05	6,1; 9,2 e 12	30,45 e 60	-
19/12/05	6,1; 9,2 e 12	30,45 e 60	-
09/01/06	6,1; 9,2 e 12	30,45 e 60	-
06/02/06	15, 18 e 21	30,45 e 60	-
13/02/06	15, 18 e 21	30,45 e 60	-
29/08/06	15, 18 e 21	30,45 e 60	-
04/09/06	25,28 e 32	30,45 e 60	-
12/09/06	25,28 e 32	30,45 e 60	-
19/09/06	25,28 e 32	30,45 e 60	-
17/10/06	32	-	Estudo da ação da descloração nos efluentes desinfetados
30/01/07	32	30,45 e 60	Análise da dosagem estudada em Franca - SP
01/02/07	32	-	Estudo da ação da descloração no efluente desinfetado – Ensaio em Franca - SP

Para as valas de filtração para a primeira taxa hidráulica de $40 \text{ L m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ houve período onde foi estudado algumas dosagens. Vale ressaltar que, as valas de filtração entraram em funcionamento em meados de outubro e as primeiras semanas de aplicação foram descartadas, pois o biofilme ainda não estava formado. Na segunda quinzena de janeiro de 2006 nenhuma atividade de desinfecção foi realizada, pois houve o programa Ciência e Arte nas Férias oferecido pela universidade impossibilitando os trabalhos. Foram retomados os trabalhos e em seguida estudados as taxas hidráulicas referentes às valas de filtração e o efluente da lagoa anaeróbia. Por conta das atividades extra curriculares, a taxa de $60 \text{ L m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ não foi analisada da primeira vez que foi aplicada, porém após o término das aplicações de 80 e $100 \text{ L m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ a taxa de $60 \text{ L m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ foi aplicada novamente para a análise de resultados. Totalizou-se então para o efluente da vala de filtração 346 amostras antes e após a desinfecção. A tabela 4.3 apresenta as condições estudadas para as valas de filtração.

O efluente para a aplicação nas valas de filtração eram coletados semanalmente na ETE Icaraí e aplicados nas valas de filtração, em seguida, eram coletados sempre as terças-feiras no período da manhã onde era iniciada a desinfecção. Portanto, os resultados obtidos nas valas de filtração não sofreram nenhum problema por se tratar de efluente coletado e tratado no mesmo dia.

Tabela 4.3 Esquema dos ensaios de desinfecção para o efluente das valas de filtração.

Data	Taxa hidráulica (L m ⁻² dia ⁻¹)	Doses aplicadas (mg L ⁻¹)	Tempo de contato (min)	Informações adicionais
08/11/05	40	6,0 e 9,0	30,45 e 60	Foram analisados dosagens de acordo com literatura.
16/11/05	40	6,0	30,45 e 60	-
22/11/05	40	3,25 e 6,0	30,45 e 60	-
29/11/05	40	1,60 e 3,25	30,45 e 60	-
06/12/05	40	1,60 e 3,25	30,45 e 60	-
21/03/06	80	1,60 e 3,25	30,45 e 60	-
28/03/06	80	1,60 e 3,25	30,45 e 60	-
04/04/06	80	1,60 e 3,25	30,45 e 60	-
11/04/06	80	1,60 e 3,25	30,45 e 60	-
18/04/06	100	1,60 e 3,25	30,45 e 60	-
25/04/06	100	1,60 e 3,25	30,45 e 60	-
02/05/06	100	1,60 e 3,25	30,45 e 60	-
09/05/06	100	1,60 e 3,25	30,45 e 60	-
27/06/06	60	1,60 e 3,25	30,45 e 60	-
04/07/06	60	1,60 e 3,25	30,45 e 60	-
11/07/06	60	1,60 e 3,25	30,45 e 60	-
18/07/06	60	1,60 e 3,25	30,45 e 60	-

* A análise aconteceu para as três valas de filtração estudadas: 0,25; 0,50 e 0,75 m de altura da camada de areia.

O período experimental aconteceu entre agosto de 2005 a outubro de 2006. Totalizando um total de 438 amostras.

4.2.4 Coleta de amostras

Os frascos utilizados na coleta para análises físico-químicas possui volume de 2 L (tipo PET) e foram lavados, com ácido clorídrico (1:1), em seguida, foram lavados com água destilada, para evitar possíveis contaminações e interferências nos resultados finais, por exemplo na análise de fósforo. Os frascos de coleta utilizados para as amostras microbiológicas foram lavados e autoclavados. Tal procedimento busca a

eliminação de microrganismos que podem interferir no resultado final do experimento.

Após a coleta, imediatamente essas amostras foram colocadas no interior de uma caixa de isopor para melhor acondicionamento e para proteção contra radiação ultravioleta. Houve essa preocupação com relação ao recipiente em que os frascos seriam transportados de um laboratório até outro, pois se colocado em recipientes transparentes e sem proteção contra os raios solares o efluente poderia estar sofrendo desinfecção também por radiação ultravioleta, fazendo com que o resultado final fosse comprometido.

4.2.5 Descloração

A descloração foi realizada porque o efluente desinfetado proveniente da lagoa anaeróbia não atingiu os padrões estabelecidos pela CONAMA 357/05 que recomenda um total de $0,01 \text{ mg L}^{-1}$ de cloro residual total (livre + combinado) para padrões de lançamento de efluentes em rios de água doce de classe 1 e 2.

Utilizou-se o tiosulfato de sódio por se tratar de um reagente recomendado e descrito por Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA/AWWA/WEF, 2001). O inconveniente da descloração é que como o efluente é para uso agrícola o ideal é que não haja quantidades consideráveis do elemento sódio. Melhor seria o uso de SO_2 (dióxido de enxofre) como desclorante, mas para usar este reagente seria necessária a compra de cilindros e para a presente pesquisa se tornou inviável.

4.3 Características microbiológicas

A análise das amostras dos efluentes se deu no Laboratório de Saneamento da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Foram determinados coliformes totais e *Escherichia coli* e feita a contagem de helmintos e protozoários através de presença/ausência.

4.3.1 Coliformes totais e *Escherichia coli*

Foi empregado para os efluentes da lagoa anaeróbia o método do Substrato Cromogênico Definido ONPG-MUG, (kit Colilert[®]) para determinação de coliformes fecais e *E. coli*, descrito por AWWA/APHA/WEF (2001) que utiliza substratos hidrolisáveis para a detecção simultânea de coliformes totais e *E. coli*. Para os efluentes das valas de filtração o método empregado utilizado foi o de tubos múltiplos descrito por conforme CETESB (1989); AWWA/APHA/WEF (2001).

4.3.1.1 Método do substrato cromogênico definido

O grupo coliformes totais é definido como todas as bactérias que possuem a enzima β -D-galoactosidase. Esta enzima é responsável pela hidrólise do substrato cromogênico (orto-nitrofenil- β -D-galactopiranosídeo - ONPG) com liberação do cromogênio, o que produz mudança de cor no substrato. *E. coli* é determinado utilizando-se o substrato fluorogênico (4-metilumbelliferyl- β -D-glocuronídeo - MUG), que detecta a presença da enzima β -glucuronidase, produzida por este microrganismo. Esta

enzima hidrolisa o substrato e torna a amostra fluorescente sob luz ultravioleta 366nm.

As amostras, afluentes e efluentes à desinfecção, foram diluídas conforme estimativa inicial de NMP (número mais que provável). Adicionou-se o substrato a 100 mL de amostra, que foi incubada por 24 horas em temperatura de $35 \pm 0,5^\circ\text{C}$. Os resultados foram expressos em NMP 100 mL^{-1} .

4.3.1.2 Método dos tubos múltiplos

Primeiramente, realizou-se um teste presuntivo, inoculando várias diluições da amostra em um meio de cultura esterilizado de lauril-triptose (triptose, lactose, mono e dihidrogenofosfato de potássio, cloreto de sódio, lauril-sulfato de sódio e água).

Foram utilizados cinco tubos para cada diluição de amostra, contendo aproximadamente 8 mL de meio de cultura. Os tubos foram tampados e homogeneizados 25 vezes, depois submetidos à estufa a $35 \pm 0,5^\circ\text{C}$ por 48 horas. Após esse período foram observadas características que comprovassem a presença ou não de bactérias do grupo coliformes através de formação de gás ou turvação da amostra.

O próximo passo foi o teste confirmativo: o meio esterilizado de bile-lactose verde brilhante (peptona, lactose, bile bovina, verde brilhante e água) foi utilizado para confirmar a presença de coliformes totais. O meio EC (triptose, lactose, sais biliares nº3, mono e dihidrogenofosfato de potássio, cloreto de sódio e água) foi usado para confirmar e discriminar a presença de coliformes fecais. Todos os tubos positivos do teste presuntivo têm uma alíquota retirada e inoculada no meio de bile-lactose (CT) ou EC (CF) e são incubados a $35 \pm 0,5^\circ\text{C}$ ou $44,5^\circ\text{C}$ respectivamente, ambos por 24/48

horas. A presença de gás ou turvação positiva o teste.

4.3.2 Cistos e oocistos de protozoários e ovos de helmintos

A presença/ausência de cistos e oocistos de protozoários e ovos de helmintos foi determinada no Laboratório de Microbiologia do Laboratório de Saneamento da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Foi utilizada uma Câmara de Sedgwick-Rafter (S –R), com dimensões de 20 mm de largura, 50 mm de comprimento e 1 mm de profundidade e capacidade para 1 mL de amostra. Os microrganismos foram observados em microscópio óptico.

Adotou-se a metodologia de análise recomendada pela CETESB - norma L 5.550 (1989) e modificado por PIRES (2003). A técnica de sedimentação foi avaliada pelo Método de Hoffman, Pons & Janer modificado e pelo Método de Faust e Cols (para análise de cistos de protozoários e ovos leves de helmintos).

Amostras de 1 L foram coletadas e sedimentadas por 48 h sob refrigeração. Em seguida, descartou-se o sobrenadante e 100 mL do sedimentado foram centrifugados em dois frascos de 50 mL, por 5 minutos a 1500 rpm, visando a separação dos organismos. O sedimento da centrifugação foi coletado através de pipeta de Pasteur e disposto em uma câmara de Sedgwick-Rafter (S-R), com capacidade de 1 mL, e corado com 2 gotas de lugol. A amostra foi observada em um microscópio óptico com oculares de 10 vezes e objetivas de 4 a 10 vezes. Os microrganismos presentes foram identificados por comparação com a literatura especializada e suas quantidades foram registradas.

4.4 Características físicas e químicas

Os parâmetros físicos e químicos escolhidos para melhor elucidar a eficiência da desinfecção foram: Cloro Residual livre, total e combinado, pH, temperatura, condutividade, alcalinidade parcial e alcalinidade total, cor aparente e cor verdadeira, turbidez, nitrato, nitrito, nitrogênio amoniacal, nitrogênio orgânico, DQO bruta, DQO filtrada, fósforo total, oxigênio dissolvido, sólidos totais, sólidos totais fixos, sólidos totais voláteis, sólidos suspensos totais, sólidos suspensos fixos, sólidos suspensos voláteis. Foram determinadas as características do efluente a ser tratado da lagoa anaeróbia, e efluente proveniente das valas de filtração, além do efeito da cloração sobre as mesmas.

4.4.1 Cloro residual

4.4.1.1 Cloro residual livre

De acordo com CETESB (1994) cloro residual livre é o cloro residual presente na água sob a forma de ácido hipocloroso (HOCl) ou ácido hipocloroso dissociado (OCl^-). A determinação do cloro residual aconteceu utilizando-se o método colorimétrico, utilizando-se pillows da marca HACH[®] e recomendado por (AWWA/APHA/WEF, 2001). Adicionou-se 10 mL da amostra desinfetada e adicionou o conteúdo do pillows utilizando-se o espectrofotômetro DR4000U.

4.4.1.2 Cloro residual total

Cloro residual total é a soma das espécies cloro residual livre e cloro residual combinado. A determinação do cloro residual total aconteceu utilizando-se método colorimétrico, utilizando pillows da marca HACH® e recomendado por (AWWA/APHA/WEF, 2001). Adicionou-se o conteúdo do pillows em 10 mL de amostra desinfetada para a leitura do cloro residual total. Foi medido em espectrofotômetro DR4000U. A equação 4.2 apresenta a relação entre cloro residual total, livre e combinado.

$$[\text{Cloro residual Total}] = [\text{Cloro residual Livre}] + [\text{Cloro residual Combinado}]$$

Equação 4.2

4.4.1.3 Cloro residual combinado

De acordo com CETESB (1994) é cloro residual presente na água, menos o cloro residual livre (apresenta-se sob a forma de composto orgânico nitrogenado) Como visto na equação 4.2, a determinação do cloro residual combinado é feita por meio da diferença entre o cloro residual total e o cloro residual livre.

4.4.2 pH

É um parâmetro fundamental na caracterização de efluentes, representa a intensidade do caráter ácido ou básico de uma solução. O pH foi medido utilizando-se um pHmetro, modelo 410, Thermo Orion. Vale salientar que, o pH é uma medida

que deve ser realizada logo após a desinfecção, pois indica uma característica preliminar da amostra.

4.4.3 Condutividade

É a medida da capacidade que um meio líquido possui em transportar elétrons. Depende do tamanho da partícula, bem como de sua mobilidade e valência. A condutividade foi medida utilizando-se o condutivímetro Micronal B330 e seguiu-se a metodologia 2510B indicada por (AWWA/APHA/WEF, 2001).

4.4.4 Turbidez

Turbidez é a medida do espalhamento e absorção da luz causada por material suspenso e coloidal, como argila, silte, material orgânico e inorgânico finamente dividido, plâncton e outros organismos microscópicos. Uma amostra é submetida à luz branca e verifica-se a magnitude da atenuação do feixe incidente por fenômeno de espalhamento, comparando-se a padrões pré-estabelecidos (AWWA/APHA/WEF, 2001).

A turbidez foi medida devido a sua conhecida interferência sobre processos de desinfecção, pois através das partículas suspensas há oclusão dos organismos patogênicos. A turbidez foi medida conforme AWWA/APHA/WEF (2001) em unidades nefelométricas (NTU), contra um padrão polimérico de formazina utilizando um turbidímetro HACH - modelo 2100N.

4.4.5 Alcalinidade

De acordo com AWWA/APHA/WEF (2001) a alcalinidade é a capacidade da amostra de neutralizar ácidos, predominantemente por meio de hidróxidos e da decomposição de carbonatos/bicarbonatos. Portanto, alcalinidade mede a soma de todas as bases tituláveis, incluindo boratos, silicatos e fosfatos se essas estiverem presentes. A alcalinidade é um importante fator no que diz respeito à irrigação, controle de processos de tratamento de água e efluente, principalmente de reatores anaeróbios, controles de corrosão e palatabilidade da água potável.

A alcalinidade foi medida pela titulação de 50,0 mL de amostra com ácido sulfúrico (H_2SO_4) de concentração conhecida até pH 5,75 (para alcalinidade parcial) e pH 4,5 (para alcalinidade total). Utilizou-se o pHmetro Thermo Orion para medida de pH. É expressa em $mg\ CaCO_3\ L^{-1}$ e utilizam-se as seguintes fórmulas (equação 4.3 e 4.4) para o resultado final:

$$\text{Alcalinidade Parcial} = \frac{V_p \cdot N_{H_2SO_4} \cdot 50.000}{V_{am}} \quad (\text{Equação 4.3})$$

$$\text{Alcalinidade Total} = \frac{V_T \cdot N_{H_2SO_4} \cdot 50.000}{V_{am}} \quad (\text{Equação 4.4})$$

Sendo:

V_p e V_T os volumes de ácido sulfúrico utilizado na titulação para volume parcial e volume total, respectivamente;

$N_{H_2SO_4}$ a normalidade do ácido sulfúrico;

V_{am} é o volume de amostra utilizado.

4.4.6 Cor

A cor em efluentes é normalmente ocasionada por íons metálicos naturais, como ferro e manganês, por presença de húmus, plâncton e algas e contribuições de efluentes de origem industrial. Uma amostra é submetida a um determinado comprimento de onda e verifica-se a magnitude da atenuação do feixe de luz incidente por fenômeno de absorção, comparando-a a padrões pré-estabelecidos. No caso de águas naturais, o método de platina-cobalto (cloroplatinato de potássio com cloreto de cobalto) é o mais empregado, não servindo, porém para efluentes industriais.

Cor aparente e verdadeira são medidas, respectivamente, antes e após filtração das amostras para a remoção de sólidos suspensos. A cor aparente é aquela que abrange a cor conferida tanto pelas substâncias em solução como por materiais suspensos, enquanto a cor verdadeira é atribuída apenas às substâncias dissolvidas. Tanto cor aparente quanto cor verdadeira são determinadas contra padrões platina-cobalto, em espectrofotômetros DR4000U com comprimento de onda de 465nm.

4.4.7 Série de nitrogênio

O nitrogênio pode se apresentar sob diferentes formas, variando seu nível de oxidação. São elas: nitrogênio gasoso (N_2), nitrogênio orgânico (N – C), nitrogênio amoniacal (NH_3 ou NH_4^+), nitrito (NO_2^-) e nitrato (NO_3^-). Todas essas formas são interconvertíveis, dependendo de fatores como pH, temperatura, nível de oxidação entre outros. Além disso, apresentam diferentes características físico-químicas e diferentes aspectos toxicológicos, dependendo da maneira como estão dispostos no ambiente.

A determinação das formas de nitrogênio amoniacal e orgânico aconteceram seguindo recomendações de AWWA/APHA/WEF (2001) onde utilizou-se o método titulométrico para determinação das quantidades requeridas. Para a determinação do nitrogênio amoniacal as amostras foram colocadas em tubo macro-kjeldahl com solução de tampão borato, em seguida, mediu-se o pH para ver se estava em torno de 9,5 caso não estivesse adicionou-se NaOH até atingir o pH esperado. No caso das amostras desinfetadas adicionou-se tiosulfato de sódio para eliminar interferentes. Destilou-se o conteúdo do tubo macro em destilador Kjeldahl e num erlenmeyer com ácido bórico foi-se coletado o produto da destilação que em seguida foi titulado com ácido sulfúrico 0,02 mol L⁻¹ até mudança de cor.

Para a análise de nitrogênio orgânico utilizou-se a sobra do tubo macro-Kjeldahl e nesse conteúdo adicionou-se solução digestora de NTK e algumas pedras de ebulição e colocou-se as amostras para digerir em digestor Marconi – Modelo MA850/16. Após a amostra atingir 270^o C ou apresentar fumos brancos foi retirada e destilada novamente em destilador Kjeldahl juntamente com solução de tiosulfato de sódio/hidróxido de sódio e algumas gotas de fenolftaleína. No erlenmeyer com ácido bórico foi-se coletado o produto da destilação que em seguida foi titulado com ácido sulfúrico 0,02 mol L⁻¹ até mudança de cor.

Para análise de nitrato e nitrito utilizou-se o método colorimétrico utilizando-se pillows da HACH[®] em amostras previamente filtradas para eliminação de cor e turbidez para reduzir as interferências. Utilizou-se o método 8039 para análise de nitrato com comprimento de onda de 500 nm no espectrofotômetro DR4000U. Para análise de nitrito utilizou-se o método 8507 com comprimento de onda de 507 nm no espectrofotômetro DR4000U.

4.4.8 Demanda química de oxigênio (DQO)

A carga orgânica de águas pode ser estimada através de medições do consumo indireto de oxigênio necessário para a oxidação (degradação) da mesma. O princípio da demanda química de oxigênio (DQO) consiste em se utilizar um oxidante químico forte, o dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$), em meio ácido (H_2SO_4) e com aquecimento, levando a matéria orgânica a se converter em CO_2 e H_2O . (AWWA/APHA/WEF, 2001).

Este parâmetro foi escolhido levando-se em consideração a capacidade do cloro presente no hipoclorito de cálcio em oxidar a matéria orgânica presente no esgoto. Foi empregado o método colorimétrico de refluxo fechado, descrito na sessão 5220D do AWWA/APHA/WEF (2001). As amostras foram filtradas em micro-filtro de fibra de vidro GF 52-C Schleicher & Schuell, que retêm 99% das partículas de tamanho maior que 1,2 μm , separou-se uma alíquota de 2,5 mL de amostra que foi digerida com 1,5 mL de dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$) e 3,5 mL de ácido sulfúrico (H_2SO_4) em temperatura de 150°C durante 2 horas. Mediu-se a absorvância em 600nm de comprimento de onda no espectrofotômetro DR4000U.

4.4.9 Fósforo total

O fósforo se apresenta na natureza nas formas de ortofosfato, fosfatos condensados (piro, meta e polifosfatos) e fosfatos organicamente ligados. As principais fontes de ortofosfato e fosfatos condensados são os detergentes e defensivos agrícolas. O fósforo total pode ser determinado separadamente sob diferentes formas (dissolvido, reativo, suspenso, orgânico, hidrolisável em ácidos) ou simplesmente na sua forma total. Dentre os métodos mais utilizados na determinação de fósforo total

destaca-se o do ácido fosfomolibdico reduzido a azul de molibdênio por ácido ascórbico, ou simplesmente método do ácido ascórbico.

Para a determinação do fósforo total utilizou-se a metodologia recomendada por (AWWA/APHA/WEF, 2001) descrito na sessão 4500 que é denominado como método do ácido ascórbico. Uma alíquota 25 mL de amostra foi colocada em tubos micro-Kjeldahl onde sofreu digestão juntamente com 1 mL de H_2SO_4 e 5 mL de HNO_3 durante 1 h num bloco digestor Tecnal – Modelo TE 040/25 a temperatura de $105^\circ C$. Em seguida, adicionou-se NaOH até completa neutralização da solução. Transferiu o resíduo do tubo para um balão volumétrico e em seguida, retirou-se uma alíquota de 25 mL de amostra e adicionou-se 4 mL de solução desenvolvedora de cor composta por ácido sulfúrico, tartarato de antimônio e potássio, molibdato de amônio e ácido ascórbico e fez-se a leitura em comprimento de onda 880nm em espectrofotômetro Hach – Modelo DR4000U.

4.4.10 Oxigênio dissolvido

De acordo com AWWA/APHA/WEF (2001) os níveis naturais de oxigênio dissolvido (OD) em esgotos dependem das atividades físicas, químicas e bioquímicas do corpo d'água. É uma análise chave para controle de poluição da água e no controle do tratamento de esgotos. Para análises de oxigênio dissolvido (OD) foi necessária a utilização do Oxímetro Orion – Modelo 810.

4.4.11 Sólidos totais e sólidos suspensos

De acordo com AWWA/APHA/WEF (2001) os sólidos são toda a matéria dissolvida ou suspensa presente na água ou nos esgotos. Os sólidos totais se referem a toda a matéria sólida dissolvida ou suspensa. Não é necessária a filtração das amostras e sim apenas colocá-las em cápsulas de porcelana. A porção que sofre evaporação após passar pela estufa a 103 – 105°C corresponde à quantidade de sólidos totais. Após pesagem e submeter o resíduo da determinação de sólidos totais à mufla a 550°C por pelo menos uma hora a quantidade de sólidos totais fixos e voláteis será determinada.

Os sólidos suspensos totais se referem à porção de sólidos que é retida em um filtro com tamanho nominal dos poros menor ou igual a 2,0 µm. Esses sólidos se caracterizam e divide quanto à sua volatilidade em fixos e voláteis. Sólidos fixos são aqueles remanescentes do processo de ignição em temperatura e tempo especificados, e a perda de massa durante a ignição é denominada sólidos voláteis.

Essa divisão é um indicativo, mas não distingue precisamente a matéria inorgânica da matéria orgânica, pois não apenas a matéria orgânica sofre a perda de massa por ignição, como também ocorre decomposição ou volatilização de alguns sais minerais.

Os sólidos suspensos totais (SST), fixos (SSF) e voláteis (SSV) foram medidos de acordo com AWWA/APHA/WEF (2001), sessão 2540B, 2540D e 2540E. As amostras foram filtradas em papel de filtro Whatman - Ø47 mm , em seguida, os filtros sofreram secagem durante 1 h na estufa para secagem Fanem – Modelo 315SE entre 103 a 105°C, para determinação dos sólidos suspensos totais, após pesagem os sólidos suspensos fixos e voláteis foram determinados após a ignição por 1h a 550°C

em Mufla Forid – Modelo MELF. Para a determinação dos sólidos totais (ST), sólidos totais fixos (STF) e voláteis (STV) as amostras foram colocadas sem serem filtradas e o processo aconteceu da mesma maneira apresentado anteriormente. Utilizou-se para determinação dos sólidos suspensos um volume de 60 mL de amostra e para a determinação de sólidos totais utilizou-se um volume de 100 mL de amostra.

4.5 Análise estatística dos resultados

Primeiramente, por se tratar de uma enorme quantidade de dados, foram feitas análises de média de todos os resultados utilizando-se o programa Excel, incluindo a confecção dos gráficos utilizando o mesmo programa.

Os resultados das análises físicas, químicas e microbiológicas foram submetidos a tratamento estatístico fazendo-se uso do programa estatístico SAS (versão 9.1) para interpretação dos dados. Os dados do experimento foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas através do teste de Tukey ao nível de 5%.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como mencionado anteriormente, a parte experimental durou 14 meses, de agosto/2005 a outubro de 2006. A análise de resultados foi feita partindo-se do efluente proveniente da lagoa anaeróbia e, em seguida, foram avaliados os resultados obtidos nas valas de filtração.

5.1 LAGOA ANAERÓBIA

A princípio foram realizadas análises para caracterização do efluente proveniente da Lagoa Anaeróbia – Paulistano II. A caracterização foi importante no sentido de se saber as características do esgoto a ser estudado. A tabela 5.1 apresenta a média dos resultados obtidos durante o período de caracterização da amostra.

Tabela 5.1 – Caracterização do efluente da Lagoa Anaeróbia – Paulistano II.

Variável analisada	
pH	7,45
Condutividade	874($\mu\text{S cm}^{-1}$)
Turbidez	89,3 (UNT)
Cor aparente	760 (mg Pt L ⁻¹)
Cor verdadeira	154 (mg Pt L ⁻¹)
Alcalinidade parcial	315,5 (mg CaCO ₃ L ⁻¹)
Alcalinidade total	441,7 (mg CaCO ₃ L ⁻¹)
DQO bruta	1.333 (mg O ₂ L ⁻¹)
Nitrato	4,9 (mg L ⁻¹)
Nitrito	0,0004 (mg L ⁻¹)
N amoniacal	49,3 (mg L ⁻¹)
N orgânico	3,15 (mg L ⁻¹)
Fósforo Total	2,35 (mg L ⁻¹)
Sólidos Totais (ST)	925 (mg L ⁻¹)
Sólidos Totais Fixos (STF)	550 (mg L ⁻¹)
Sólidos Totais Voláteis (STV)	375 (mg L ⁻¹)
Sólidos Suspensos (SS)	162 (mg L ⁻¹)
Sólidos Suspensos Fixos (SSF)	80 (mg L ⁻¹)
Sólidos Suspensos Voláteis (SSV)	82 (mg L ⁻¹)
E. coli	2,00. 10 ⁷ (NMP 100 mL ⁻¹)
Coliformes totais	3,00. 10 ⁷ (NMP 100 mL ⁻¹)
Helmintos	9 (nº de indivíduos L ⁻¹)
Protozoários	7 (nº de indivíduos L ⁻¹)

Após caracterização da amostra iniciou-se a desinfecção para diferentes dosagens de hipoclorito de cálcio e os resultados sofreram uma série de análises estatísticas para as diversas variáveis estudadas. Como mencionado, utilizou-se o programa estatístico SAS (versão 9.1) para interpretação dos dados. Os dados do experimento foram submetidos a análise de variância e as médias comparadas através do teste de Tukey ao nível de 5%. A tabela 5.2 apresenta dados relevantes sobre as análises estatísticas mais especificamente os p-valores. Estudou-se a relação entre as dosagens de hipoclorito de cálcio aplicadas e o tempo de contato entre o efluente e o desinfetante.

Os valores da tabela 5.2 foram obtidos para cada variável estudada e para cada

tratamento (dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L^{-1}) e o tempo de contato (min)), caso os valores sejam menores que 0,05 significa que as variáveis analisadas dependem ou da dosagem de hipoclorito de cálcio ou do tempo de contato ou de ambos, ou seja, são dependentes do tratamento. Caso este valor seja superior a 0,05 significa que os fatores do tratamento são independentes, ou seja, a variável analisada não sofre influência do tratamento.

Tabela 5.2 - Dados relevantes sobre as análises estatísticas.

Significância Estatística		
Se $p < 0,05$ então pelo menos duas médias são diferentes		
Variável analisada	Dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L^{-1})	Tempo de Contato (min)
Cloro Residual Livre	<0,0001	0,4350
Cloro Residual Total	<0,0001	0,5424
pH	<0,0001	0,0642
Condutividade	<0,0001	0,4397
Turbidez	0,1053	0,0093
Cor aparente	0,0008	0,0272
Cor verdadeira	<0,0001	0,1123
Alcalinidade parcial	<0,0001	0,3401
Alcalinidade total	<0,0001	0,2826
DQO bruta	0,0002	0,2991
DQO filtrada	0,0882	0,4667
Nitrato	0,0869	0,2468
Nitrito	0,0160	0,1770
N amoniacal	<0,0001	0,5105
N orgânico	0,0041	0,1843
Fósforo Total	<0,0001	0,5679
Sólidos Totais (ST)	<0,0001	0,0298
Sólidos Totais Fixos (STF)	<0,0001	0,2549
Sólidos Totais Voláteis (STV)	0,0724	0,0023
Sólidos Suspensos (SS)	0,0146	0,0162
Sólidos Suspensos Fixos (SSF)	0,2742	0,1973
Sólidos Suspensos Voláteis (SSV)	0,0019	0,0073
E. coli*	<0,0001	0,3407
Coliformes totais	<0,0001	0,5876
Cistos de E. coli**	<0,0001	0,2327
Ovos de Ancilostomatídeos	<0,0001	0,6016
Larvas de nematóides	<0,0001	0,0635

**Escherichia coli* ** *Entamoeba coli*

5.1.1 Cloro residual

Foram analisadas as variáveis: cloro residual livre e cloro residual total. Pela diferença entre as duas variáveis obteve-se o resultado de cloro residual combinado, a partir da equação 3.11. Os resultados obtidos para diversas dosagens estudadas são apresentadas nas figuras 5.1, 5.2 e 5.3.

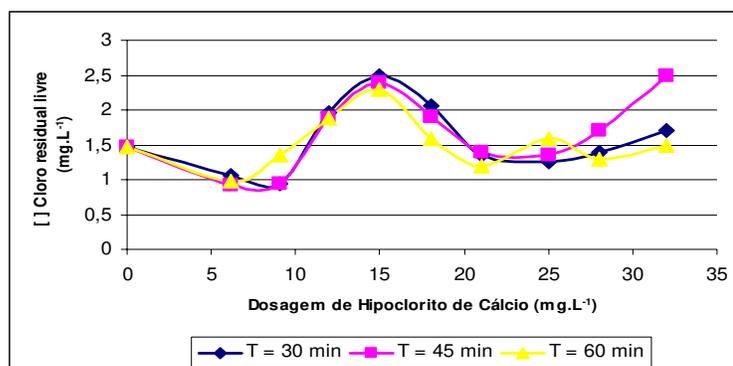


Figura 5.1 – Variação da concentração de cloro residual livre (mg L^{-1}) versus dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L^{-1}).

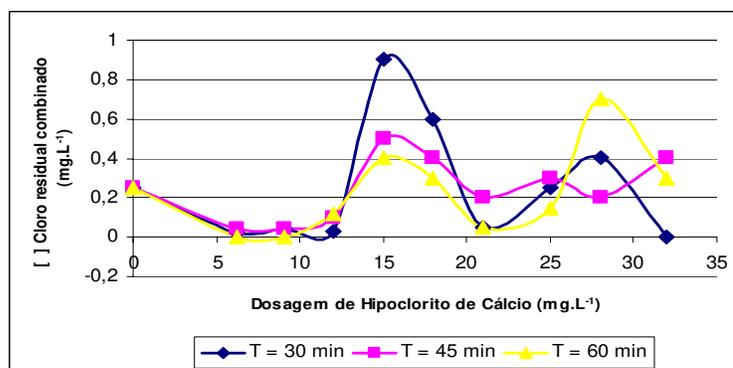


Figura 5.2 – Variação da concentração de cloro residual combinado (mg L^{-1}) versus dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L^{-1}).

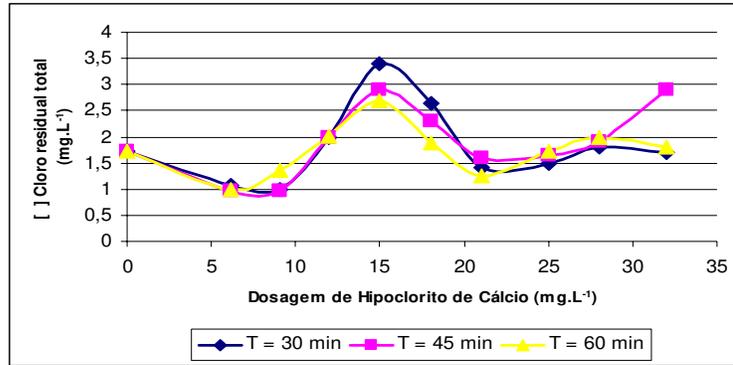


Figura 5.3 – Variação da concentração de cloro residual total (mg L^{-1}) versus dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L^{-1}).

De acordo com a CONAMA 357/05 a concentração máxima de cloro residual total (livre + combinado) permitida para padrões de qualidade das águas doces de classe 1 e 2 é $0,01 \text{ mg L}^{-1} \text{ Cl}$. A partir da figura 5.3 nota-se que a concentração de cloro residual total é superior a $1,00 \text{ mg L}^{-1}$. Isso implica na inclusão de uma etapa de descloração do efluente, pois se sabe que concentrações residuais superiores a $0,20 \text{ mg L}^{-1}$ são letais a peixes e animais vertebrados. Correlações entre a concentração de cloro residual total e a dosagem de hipoclorito de cálcio aplicado não podem ser realizadas, pois a concentração da matéria orgânica existente no esgoto é diferente se levar-se em consideração que o efluente da lagoa anaeróbia foi coletado em diferentes épocas do ano.

A partir da figura 5.2 percebe-se que na dosagem 15 mg L^{-1} de hipoclorito de cálcio houve uma maior formação de cloro residual combinado. Para tempo de contato 30 minutos o resultado foi superior a $0,80 \text{ mg L}^{-1}$ de Cl. Seguido do tempo de contato de 45 minutos que chegou a concentração de $0,50 \text{ mg L}^{-1}$ e por fim o tempo de contato de 60 minutos que obteve concentração de $0,40 \text{ mg L}^{-1}$.

A análise de cloro residual combinado é uma variável importante, pois se sabe que quanto maior a quantidade de cloro residual combinado menor é a quantidade de

trialometano formado. Através de análises estatísticas pode-se observar na tabela 5.3 a relação entre a variável estudada (cloro residual livre e total) e as dosagens de hipoclorito de cálcio aplicadas.

Tabela 5.3 – Relação entre a variável estudada (cloro residual livre e total) e dosagens de hipoclorito de cálcio aplicadas.

		Agrupamento Tukey ⁽¹⁾		Médias ⁽²⁾	N ⁽³⁾	Dosagem aplicada (mg L ⁻¹) ⁽⁴⁾		
Cloro Residual livre (mg L ⁻¹)		A		2,40	3	15		
		A	B	1,92	3	12		
		A	B	1,90	3	32		
		A	B	1,84	3	18		
			B	C	1,48	3	0	
			B	C	1,47	3	28	
			B	C	1,39	3	25	
			B	C	1,32	3	21	
				C	1,08	3	9,1	
				C	0,99	3	6,2	
Cloro Residual total (mg L ⁻¹)		A		3,00	3	15		
		A	B	2,28	3	18		
		B	C	2,13	3	32		
		B	C	2,00	3	12		
		B	C	D	1,90	3	28	
		B	C	D	E	1,73	3	0
		B	C	D	E	1,63	3	25
			C	D	E	1,42	3	21
			D	E	1,11	3	9,1	
			D	E	1,01	3	6,2	

(1) Significa que os resultados foram agrupados através das letras em maiúsculo; (2) Médias obtidas das análises realizadas; (3) Número de análises realizadas para cada dosagem aplicada; (4) Dosagem de hipoclorito de cálcio aplicada em mg L⁻¹.

Observa-se que para a análise de cloro residual livre, dosagens de 15, 12, 32 e 18 mg L⁻¹ são agrupadas num mesmo grupo, denominado A, isso significa que independente da dosagem aplicada às médias da variável estudadas são estatisticamente iguais. Isso acontece também entre as dosagens: 12, 32, 18, 0, 28, 25 e 21 mg L⁻¹ são agrupados num mesmo grupo, denominado B, portanto, possuem entre si, significância estatística. Para a análise de cloro residual total as dosagens de 15 e 18 mg L⁻¹ se relacionam entre si, as dosagens 18, 32, 12, 28, 0 e 25, se relacionam entre

si, e assim por diante.

Através da tabela 5.2 pode-se observar que para a análise de cloro residual livre e total a dosagem de hipoclorito de cálcio não tem significância estatística. A tabela 5.4 apresenta uma relação entre a variável estudada (cloro residual livre e total) e os tempos de contato.

Tabela 5.4 - Relação entre a variável estudada (cloro residual livre e total) e os tempos de contato.

	Agrupamento Tukey ⁽¹⁾	Médias ⁽²⁾	N ⁽³⁾	Tempo de contato (min) ⁽⁴⁾
CRL (mg L ⁻¹)	A	1,65	10	45
	A	1,57	10	30
	A	1,52	10	60
CRT (mg L ⁻¹)	A	1,89	10	45
	A	1,82	10	30
	A	1,74	10	60

(1) Significa que os resultados foram agrupados através das letras em maiúsculo; (2) Médias obtidas das análises realizadas; (3) Número de análises realizadas para cada tempo de contato estudado; (4) Tempo de contato em minutos.

Verifica-se através dos resultados que tanto a variável cloro residual livre e total estão agrupados em apenas um grupo, denominado A, significa que os tempos de contato não são fatores importantes, ou seja, não interfere no resultado final. O que pode-se observar é que para tempos de contato de 45 minutos a média dos resultados obtidos após analisar 10 resultados de cloro residual livre e total é maior, em seguida, o tempo de contato de 30 minutos e por fim o tempo de contato de 60 minutos.

Portanto, ao analisar os dados obtidos, percebe-se que o tempo de contato (minutos) não é um tratamento importante nesse caso. A concentração de cloro residual tem relação com a variação do pH.

5.1.2 pH

O pH é uma variável importante e está relacionado com o caráter ácido ou básico do esgoto estudado. A figura 5.4 apresenta a relação entre a variação do pH e a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L^{-1}) estudada.

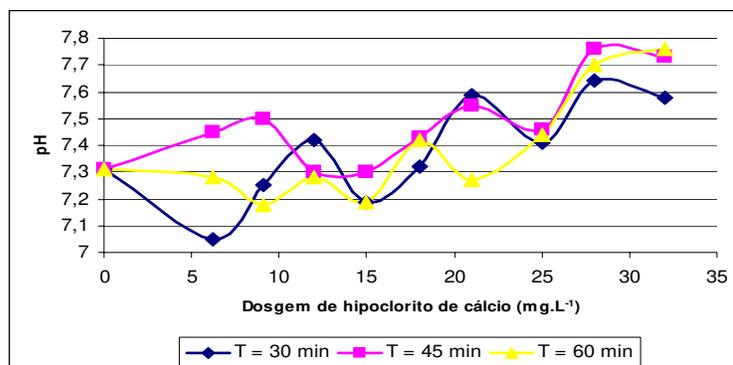


Figura 5.4 – Variação do pH versus dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L^{-1}).

Verifica-se que através da figura 5.4 que de acordo com a CONAMA 357/05 para padrões de lançamento em rios de água doce de classe 1 e 2 o valor de pH permitido variam entre 6,0 e 9,0. Em todas as dosagens de hipoclorito de cálcio estudadas variando-se o tempo de contato de 30, 45 e 60 minutos os valores de pH variaram-se em média entre 7,0 e 7,8. Análises estatísticas foram realizadas relacionando a dosagem de hipoclorito de cálcio aplicado e o tempo de contato. A tabela 5.5 apresenta a relação entre a variável estudada (pH) e as dosagens de hipoclorito de cálcio aplicadas.

Tabela 5.5 - Relação entre a variável estudada (pH) e as dosagens de hipoclorito de cálcio aplicadas.

	Agrupamento Tukey ⁽¹⁾		Médias ⁽²⁾	N ⁽³⁾	Dosagem aplicada (mg L ⁻¹) ⁽⁴⁾
pH	A		7,70	3	28
	A		7,69	3	32
	A	B	7,47	3	21
	A	B	7,44	3	25
	B		7,39	3	18
	B		7,33	3	12
	B		7,31	3	0
	B		7,31	3	9,1
	B		7,26	3	6,2
	B		7,23	3	15

(1) Significa que os resultados foram agrupados através das letras em maiúsculo; (2) Médias obtidas das análises realizadas; (3) Número de análises realizadas para cada dosagem aplicada; (4) Dosagem de hipoclorito de cálcio aplicada em mg L⁻¹.

Isso significa que as dosagens que apresentam as letras em comum entre si, estatisticamente esses resultados em média são todos iguais. A tabela 5.6 apresenta uma relação entre a variável estudada (pH) e os tempos de contato.

Tabela 5.6 - Relação entre a variável estudada (pH) e os tempos de contato

	Agrupamento Tukey ⁽¹⁾		Médias ⁽²⁾	N ⁽³⁾	Tempo de contato (min) ⁽⁴⁾
pH	A		7,48	10	45
	A		7,38	10	60
	A		7,38	10	30

(1) Significa que os resultados foram agrupados através das letras em maiúsculo; (2) Médias obtidas das análises realizadas; (3) Número de análises realizadas para cada tempo de contato estudado; (4) Tempo de contato em minutos.

De acordo com a tabela 5.6 observa-se que os tempos de contato não interferem nos resultados obtidos, em média, pela estatística, são considerados iguais. O que pode-se concluir então é que o tempo de contato nesse caso não necessariamente precisa variar entre 30 e 60 minutos.

De acordo com Zarpelon e Rodrigues (2001) pode-se concluir que para valores de pH inferiores a 6,0 predomina o ácido hipocloroso (HOCl), porém à medida que a temperatura e o pH se elevam, aumenta o grau de ionização do ácido e conseqüentemente, a concentração do íon hipoclorito (OCl⁻).

As cloraminas também têm formação condicionada ao pH. Assim: pH acima de 8,5 forma-se apenas monoclорaminas, pH 8,5 e 4,4 formam-se uma mistura de monoclорamina e dicloramina, pH 7,0 forma-se cerca de 50% de monoclорamina e 50% de dicloramina e pH entre 4,4 e 5,0 forma-se apenas dicloramina. Ao verificar os resultados obtidos de pH o que pode-se concluir é que nesse caso o pH está em torno de 7,0 e há uma mistura de 50% de monoclорamina e dicloramina. (CETESB, 1994)

5.1.3 Temperatura

A temperatura é um fator importante e aliado ao pH pode-se observar a formação das espécies HOCl e OCl⁻. A temperatura em toda a parte experimental não ultrapassou os 28°C. Os valores obtidos de temperatura foram entre 21-28 °C. Essa variável foi principalmente importante, por essa razão a desinfecção era realizada sempre entre as 7:00 e 8:00 horas da manhã, ou seja, a temperatura não era elevada independentemente da estação do ano.

5.1.4 Condutividade

A condutividade é uma variável importante, mas não possui citação nas normas vigentes. É a medida da capacidade que um meio líquido possui de transportar elétrons. Depende do tamanho da partícula, bem como de sua mobilidade e valência. A figura 5.5 apresenta a variação da condutividade ($\mu\text{S cm}^{-1}$) em função da dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L^{-1}).

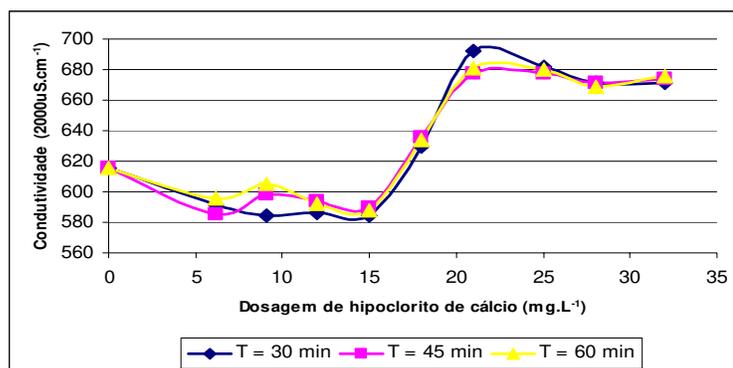


Figura 5.5 – Variação da condutividade ($\mu\text{S cm}^{-1}$) versus dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L^{-1}).

Ao adicionar o hipoclorito de cálcio no esgoto doméstico verifica-se através da figura 5.5 que houve um aumento na condutividade ocasionado pelo aumento da concentração de sais. Quanto maior a dosagem de hipoclorito de cálcio em miligramas por litro, maior é a concentração de sais e maior é a condutividade. A análise estatística foi realizada e os resultados obtidos estão apresentados na tabela 5.7 que relaciona a condutividade e as dosagens de hipoclorito de cálcio.

Tabela 5.7 - Relação entre a variável estudada (condutividade) e as dosagens de hipoclorito de cálcio aplicadas.

	Agrupamento Tukey ⁽¹⁾	Médias ⁽²⁾	N ⁽³⁾	Dosagem aplicada (mg L ⁻¹) ⁽⁴⁾
Condutividade (μS.cm ⁻¹)	A	683	3	21
	A	680	3	25
	A	674	3	32
	A	670	3	28
	B	633	3	18
	C	616	3	0
	D	596	3	9,1
	D	591	3	6,2
	D	591	3	12
	D	587	3	15

(1) Significa que os resultados foram agrupados através das letras em maiúsculo; (2) Médias obtidas das análises realizadas; (3) Número de análises realizadas para cada dosagem aplicada; (4) Dosagem de hipoclorito de cálcio aplicada em mg L⁻¹.

Verificam-se dosagens que variam entre 21 e 32 mg L⁻¹ possuem a mesma relação, ou seja, suas médias pela estatística, podem ser consideradas iguais. O fato do efluente bruto, ou seja, aquele que apresenta dosagem 0 (zero) ter uma condutividade maior que em dosagens aplicadas entre 6,2 e 15 mg L⁻¹ pode ser explicado se for considerado que este efluente pode ter sido coletado em dias em que o esgoto estivesse com uma maior concentração de sais dissolvidos na água. A tabela 5.8 apresenta a relação entre a condutividade e os tempos de contato estudados.

Tabela 5.8 - Relação entre a condutividade e os tempos de contato estudados

	Agrupamento Tukey ⁽¹⁾	Médias ⁽²⁾	N ⁽³⁾	Tempo de contato (min) ⁽⁴⁾
Condutividade (μS.cm ⁻¹)	A	634	10	60
	A	632	10	45
	A	631	10	30

(1) Significa que os resultados foram agrupados através das letras em maiúsculo; (2) Médias obtidas das análises realizadas; (3) Número de análises realizadas para cada tempo de contato estudado; (4) Tempo de contato em minutos.

Por meio da análise dos tempos de contato estudados e a condutividade obtidas verifica-se que a variação do tempo de contato não influencia no resultado final, ou seja, não há diferença se o tempo de contato aplicado for 30, 45 ou 60 minutos que suas médias serão estatisticamente consideradas iguais.

5.1.5 Turbidez

Verifica-se que a turbidez é um parâmetro que de acordo com a CONAMA 357/05 para padrões de qualidade da água em rios de água doce de classe 1 a turbidez máxima permitida é de 40 UNT e para classe 2 a turbidez não deve ultrapassar 100 UNT. A figura 5.6 apresenta a variação da turbidez (UNT) com relação à dosagem de hipoclorito de cálcio aplicada em miligramas por litro.

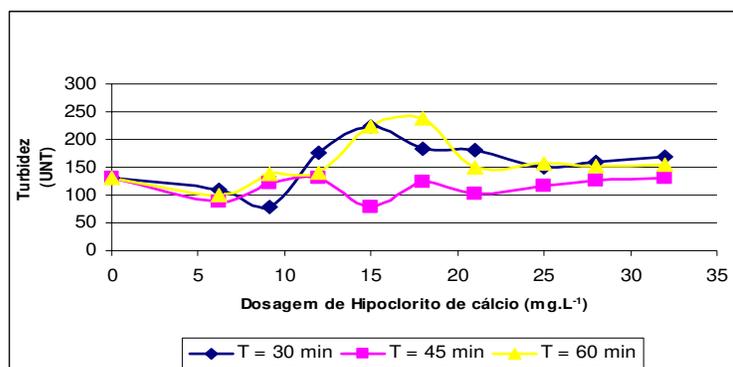


Figura 5.6 – Variação da turbidez (UNT) versus dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L⁻¹).

Após a verificação da figura 5.6 observou-se que a turbidez alcançou valores superiores a 150 UNT. O que se sabe é que com a desinfecção, a turbidez aumenta consideravelmente. Efluentes com turbidez alta podem não ser eficazes no processo de remoção de patógenos. A tabela 5.9 apresenta uma relação entre a turbidez e as

dosagens de hipoclorito de cálcio aplicadas.

Tabela 5.9 - Relação entre a turbidez e as dosagens de hipoclorito de cálcio aplicadas.

	Agrupamento Tukey ⁽¹⁾	Médias ⁽²⁾	N ⁽³⁾	Dosagem aplicada (mg L ⁻¹) ⁽⁴⁾
Turbidez (UNT)	A	182,00	3	18
	A	175,60	3	15
	A	151,67	3	32
	A	149,33	3	12
	A	146,00	3	28
	A	144,67	3	21
	A	140,67	3	25
	A	130,00	3	0
	A	112,33	3	9,1
	A	92,20	3	6,2

(1) Significa que os resultados foram agrupados através das letras em maiúsculo; (2) Médias obtidas das análises realizadas; (3) Número de análises realizadas para cada dosagem aplicada; (4) Dosagem de hipoclorito de cálcio aplicada em mg L⁻¹.

Verifica-se que a dosagem de hipoclorito de cálcio em miligramas por litro não influencia no resultado final. Porém, a partir da tabela 5.10 que mostra a relação entre a turbidez e os tempos de contato estudados observa-se que tanto o tempo de contato de 60 quanto de 30 minutos possuem a mesma média de resultados, porém em tempos de contato de 45 minutos em alguns casos atendem a norma vigente e possuem os menores valores de turbidez.

Tabela 5.10 - Relação entre a turbidez e os tempos de contato estudados

	Agrupamento Tukey ⁽¹⁾	Médias ⁽²⁾	N ⁽³⁾	Tempo de contato (min) ⁽⁴⁾
Turbidez (UNT)	A	158,44	10	60
	A	156,00	10	30
	B	115,00	10	45

(1) Significa que os resultados foram agrupados através das letras em maiúsculo; (2) Médias obtidas das análises realizadas; (3) Número de análises realizadas para cada tempo de contato estudado; (4) Tempo de contato em minutos.

A turbidez foi medida devido a sua conhecida interferência sobre processos de desinfecção, pois por meio das partículas suspensas há oclusão dos organismos patogênicos. Diversos autores destacam que uma boa remoção de turbidez contribui na posterior desinfecção do efluente, visto que os sólidos em suspensão podem servir de abrigo para os microrganismos patogênicos. Outro fator importante na remoção de turbidez é a possibilidade do reúso deste efluente e outras atividades.

5.1.6 Alcalinidade

A alcalinidade é um parâmetro que indica a capacidade de tamponamento do sistema e é responsável por boa parte do equilíbrio do pH. Os principais constituintes da alcalinidade são os bicarbonatos (HCO_3^-), carbonatos (CO_3^{2-}) e hidróxidos (OH^-). A distribuição entre estas três formas é função do pH, sendo que valores de pH maiores que 9,4 são encontrados os hidróxidos e carbonatos; pH entre 8,3 e 9,4 são encontrados carbonatos e bicarbonatos e pH entre 4,4 e 8,3 são encontrados apenas os bicarbonatos. No caso do efluente da lagoa anaeróbia verificou-se que os valores de pH variaram entre 7,0 e 7,8 indicando assim a presença dos bicarbonatos. A figura 5.7 e 5.8 apresentam a variação da alcalinidade parcial e total, respectivamente, em $\text{mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$ com relação à dosagem de hipoclorito de cálcio aplicada em miligramas por litro.

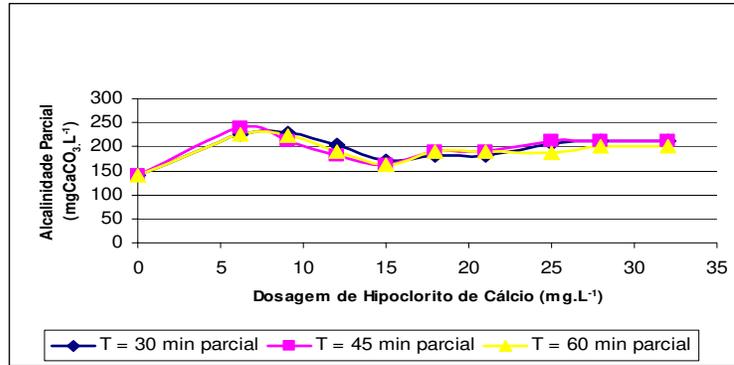


Figura 5.7 – Variação da alcalinidade parcial (mg CaCO₃ L⁻¹) versus dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L⁻¹).

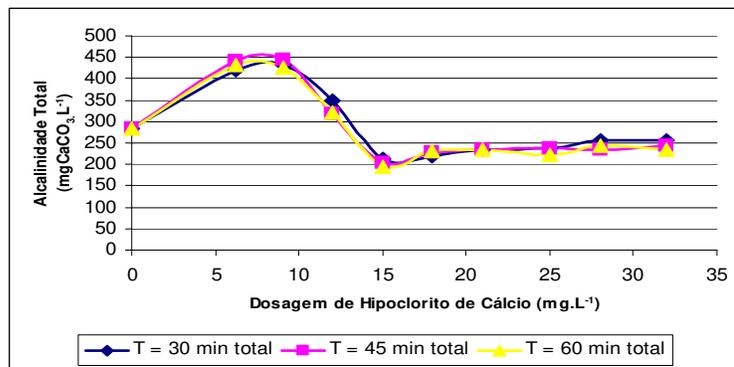


Figura 5.8 – Variação da alcalinidade total (mg CaCO₃ L⁻¹) versus dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L⁻¹).

A alcalinidade parcial foi medida em pH 5,75 e alcalinidade total em pH 4,50. Análises estatísticas foram realizadas e o que se pode concluir é que através das tabelas 5.11 e 5.12 que independente das dosagens utilizadas o tempo de contato não influencia o resultado final. A alcalinidade parcial variou em média de 230,67 a 139,72 mg CaCO₃ L⁻¹ e a alcalinidade total variou de 434,21 a 204,00 mg CaCO₃ L⁻¹.

Tabela 5.11 - Relação entre a variável estudada (alcalinidade parcial e total) e as dosagens de hipoclorito de cálcio aplicadas.

		Agrupamento Tukey ⁽¹⁾	Médias ⁽²⁾	N ⁽³⁾	Dosagem aplicada (mg L ⁻¹) ⁽⁴⁾
Alcalinidade parcial (mg CaCO ₃ L ⁻¹)		A	230,670	3	6,2
		A B	220,770	3	9,1
		A B C	208,960	3	28
		A B C	208,960	3	32
		B C	201,877	3	25
		C	190,930	3	12
		C D	187,710	3	21
		C D	186,677	3	18
		D	164,333	3	15
		E	139,720	3	0
Alcalinidade total (mgCaCO ₃ . L ⁻¹)		A	434,213	3	9,1
		A	431,243	3	6,2
		B	329,623	3	12
		C	283,000	3	0
		D	244,377	3	28
		D	244,377	3	32
		D	233,750	3	21
		D	233,750	3	25
		D E	226,317	3	18
		E	204,000	3	15

(1) Significa que os resultados foram agrupados através das letras em maiúsculo; (2) Médias obtidas das análises realizadas; (3) Número de análises realizadas para cada dosagem aplicada; (4) Dosagem de hipoclorito de cálcio aplicada em mg L⁻¹.

Tabela 5.12 - Relação entre a variável estudada (alcalinidade parcial e total) e os tempos de contato.

		Agrupamento Tukey ⁽¹⁾	Médias ⁽²⁾	N ⁽³⁾	Tempo de contato (min) ⁽⁴⁾
AP (mg CaCO ₃ L ⁻¹)		A	196,097	10	30
		A	195,106	10	45
		A	190,979	10	60
AT (mg CaCO ₃ L ⁻¹)		A	289,489	10	30
		A	287,275	10	45
		A	282,631	10	60

(1) Significa que os resultados foram agrupados através das letras em maiúsculo; (2) Médias obtidas das análises realizadas; (3) Número de análises realizadas para cada tempo de contato estudado; (4) Tempo de contato em minutos.

5.1.7 Cor

A cor é uma variável que está relacionada ao aspecto estético, é de grande importância, no reúso do esgoto tratado. Sua origem se deve a decomposição da matéria orgânica, quando há presença de ferro e manganês, enquanto, a origem antropogênica da cor é causada pela matéria em solução na água. Como citado anteriormente, a cor aparente é medida na amostra “in natura”, a cor verdadeira é medida após a amostra ser filtrada. A figura 5.9 e 5.10 apresenta a variação de cor aparente e verdadeira, respectivamente, com relação à dosagem de hipoclorito de cálcio estudado. Para padrões de lançamento em corpos d’água de classe 2 a quantidade de cor verdadeira máxima permitida é até 75 mg Pt L⁻¹.

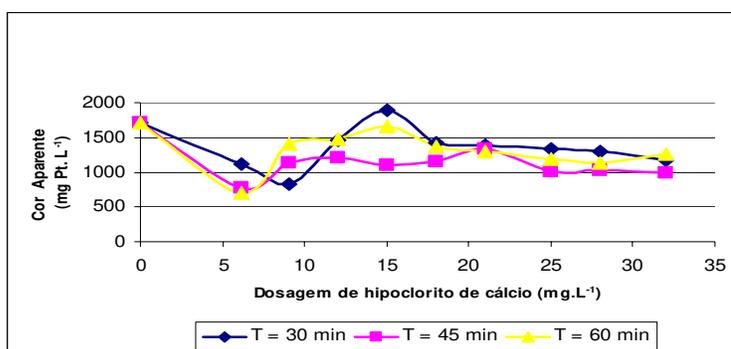


Figura 5.9 – Variação da cor aparente (mg Pt L⁻¹) versus dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L⁻¹).

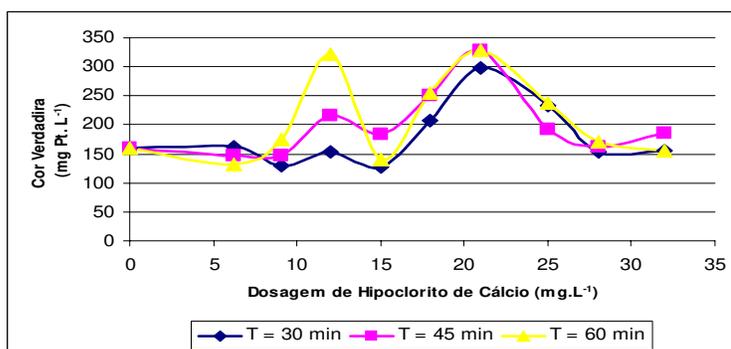


Figura 5.10 – Variação da cor verdadeira (mg Pt L⁻¹) versus dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L⁻¹).

Verifica-se a partir da figura 5.10 que em geral independentemente do tempo de contato estudado que a cor verdadeira variou quase que igualmente. Analisando estatisticamente os resultados da tabela 5.13 e 5.14 que mostra a relação entre a cor aparente e verdadeira com relação à dosagem estudada e os tempos de contato, respectivamente, verificou-se que, em média, a cor verdadeira, citada na resolução CONAMA 357/05 que recomenda até 75 mg Pt L^{-1} não é atingida em nenhum caso. O que pode ser recomendado nesse caso é a necessidade de uma etapa de filtração, para a diminuição da turbidez e conseqüentemente a diminuição da cor.

Tabela 5.13 - Relação entre a cor aparente e verdadeira e as dosagens de hipoclorito de cálcio aplicadas.

		Agrupamento Tukey ⁽¹⁾	Médias ⁽²⁾	N ⁽³⁾	Dosagem aplicada (mg L^{-1}) ⁽⁴⁾
Cor aparente (mg Pt L ⁻¹)		A	1714	3	0
		A B	1550	3	15
		A B	1385	3	12
		A B C	1340	3	21
		A B C	1313	3	18
		B C	1180	3	25
		B C	1157	3	28
		B C	1145	3	32
		B C	1123	3	9,1
		C	867	3	6,2
Cor verdadeira (mg Pt. L ⁻¹)		A	318	3	21
		A B	238	3	18
		A B C	230	3	12
		B C	221	3	25
		B C	166	3	32
		B C	162	3	28
		B C	160	3	0
		B C	150	3	15
		B C	150	3	9,1
		C	147	3	6,2

(1) Significa que os resultados foram agrupados através das letras em maiúsculo; (2) Médias obtidas das análises realizadas; (3) Número de análises realizadas para cada dosagem aplicada; (4) Dosagem de hipoclorito de cálcio aplicada em mg L^{-1} .

Tabela 5.14 - Relação entre a cor aparente e verdadeira e os tempos de contato.

	Agrupamento Tukey ⁽¹⁾	Médias ⁽²⁾	N ⁽³⁾	Tempo de contato (min) ⁽⁴⁾
Cor aparente (mg Pt L ⁻¹)	A	1362	10	30
	A B	1323	10	60
	B	1146	10	45
Cor verdadeira (mg L ⁻¹)	A	208	10	60
	A	197	10	45
	A	178	10	30

(1) Significa que os resultados foram agrupados através das letras em maiúsculo; (2) Médias obtidas das análises realizadas; (3) Número de análises realizadas para cada tempo de contato estudado; (4) Tempo de contato em minutos.

5.1.8 Série de nitrogênio

Foram analisados quatro espécies nitrogenadas, o nitrato, nitrito, nitrogênio amoniacal e nitrogênio orgânico. De acordo com a CONAMA 357/05 para padrões de lançamento em rios de classe 1 e 2 os valores máximos permitido para nitrato é 10,0 mg L⁻¹ de N, para nitrito esse valor não deve exceder a 1,0 mg L⁻¹ de N e nitrogênio amoniacal em ambientes que possuem pH em torno de 7,5 e 8,0 (que é o caso do efluente da lagoa anaeróbia) não deve ultrapassar 20,0 mg L⁻¹ de N. As figuras 5.11, 5.12, 5.13 e 5.14 apresentam a variação de nitrato, nitrito, N amoniacal e N orgânico, respectivamente, com relação a dosagem de hipoclorito de cálcio aplicada variando-se os tempos de contato.

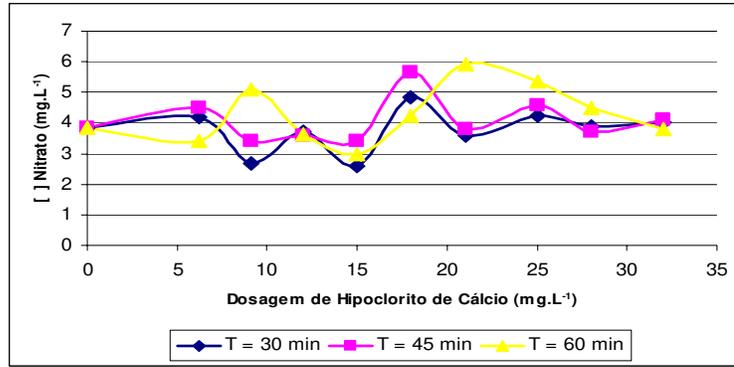


Figura 5.11 – Variação da concentração de nitrato (mg L^{-1}) versus dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L^{-1}).

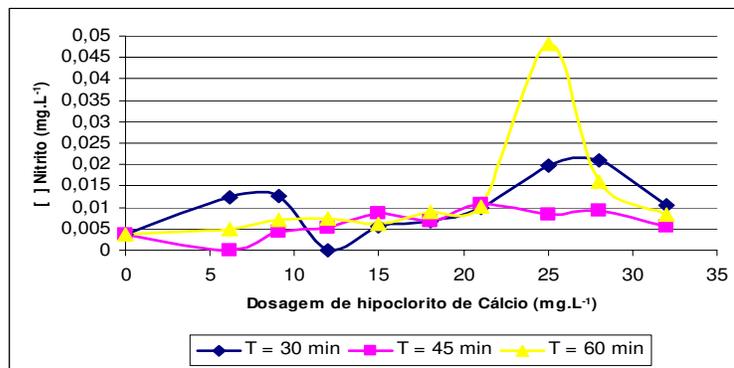


Figura 5.12 – Variação da concentração de nitrito (mg L^{-1}) versus dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L^{-1}).

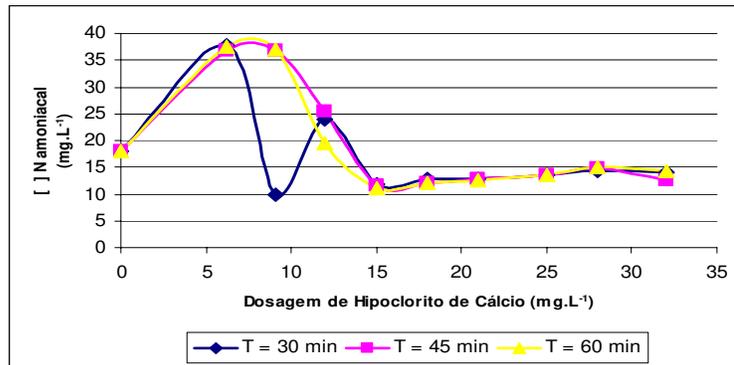


Figura 5.13 – Variação da concentração de nitrogênio amoniacal (mg L^{-1}) versus dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L^{-1}).

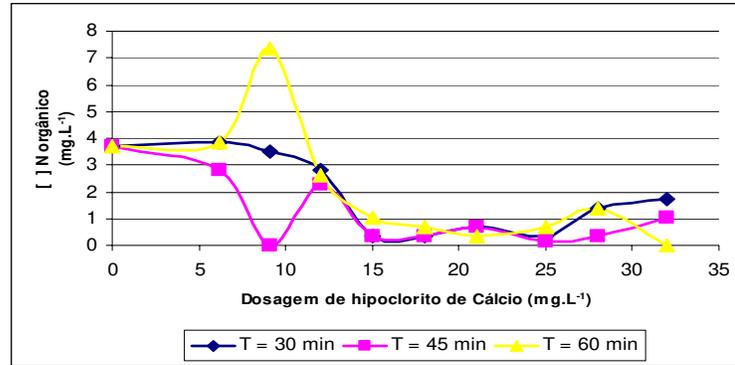


Figura 5.14 – Variação da concentração de nitrogênio orgânico (mg L^{-1}) versus Dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L^{-1}).

Verifica-se pela figura 5.11 a quantidade de nitrato alcançada a partir da variação da dosagem de hipoclorito de cálcio variando-se os tempos de contato que, em todos os casos, qualquer que seja a dosagem aplicada os valores de nitrato alcançados não foram superiores a $10,0 \text{ mg L}^{-1}$, obedecendo assim, a CONAMA 357/05. Isso acontece também com relação à quantidade de nitrito apresentado na figura 5.12, que não ultrapassou o valor máximo permitindo, ficando assim, dentro da norma vigente. Com relação à quantidade de nitrogênio amoniacal apresentado na figura 5.13, quantidades superiores ao máximo recomendado foram medidas, porém, somente a partir de dosagens superiores a 15 mg L^{-1} a norma vigente foi obedecida. Análises estatísticas foram realizadas utilizando as variáveis: nitrato, nitrito, nitrogênio amoniacal e nitrogênio orgânico e sua relação com as dosagens aplicadas (veja tabela 5.15).

Tabela 5.15 – Relação entre nitrato, nitrito, N amoniacal e N orgânico e as dosagens aplicadas.

	Agrupamento Tukey ⁽¹⁾			Médias ⁽²⁾	N ⁽³⁾	Dosagem aplicada (mg L ⁻¹) ⁽⁴⁾
Nitrato (mg L ⁻¹)	A			4,92	3	18
	A			4,73	3	25
	A			4,43	3	21
	A			4,03	3	28
	A			4,03	3	6,2
	A			3,97	3	32
	A			3,85	3	0
	A			3,73	3	9,1
	A			3,65	3	12
	A			3,00	3	15
Nitrito (mg L ⁻¹)	A			0,027	3	25
	A	B		0,017	3	28
	A	B		0,010	3	21
	A	B		0,010	3	18
	A	B		0,010	3	15
	A	B		0,010	3	12
	A	B		0,010	3	32
	A	B		0,007	3	9,1
	B			0,003	3	6,2
	B			0	3	0
N amoniacal (mg L ⁻¹)	A			37,33	3	6,2
	A	B		27,88	3	9,1
	A	B	C	22,96	3	12
	B			18,03	3	0
	B			14,70	3	28
	B			13,65	3	32
	B			13,57	3	25
	B			12,83	3	21
	C			12,37	3	18
	C			11,55	3	15
N orgânico (mg L ⁻¹)	A			3,68	3	0
	A			3,62	3	9,1
	A			3,50	3	6,2
	A			2,57	3	12
	A			1,05	3	28
	A			0,93	3	32
	A			0,58	3	15
	A			0,58	3	21
	A			0,47	3	18
	A			0,40	3	25

(1) Significa que os resultados foram agrupados através das letras em maiúsculo; (2) Médias obtidas das análises realizadas; (3) Número de análises realizadas para cada dosagem aplicada; (4) Dosagem de hipoclorito de cálcio aplicada em mg L⁻¹.

Ao analisar a tabela 5.15 verifica-se que para a variável nitrato, em média, estatisticamente, todos os resultados são considerados iguais, isso acontecendo igualmente a variável N orgânico. Com relação a variável nitrito, os valores foram divididos em dois grupos, denominados A e B que em média, estatisticamente, são considerados dentro de cada grupo iguais. Já para a variável N amoniacal as dosagens forma divididas em três grupos distintos, denominados A, B e C. A tabela 5.16 apresenta a relação entre as variáveis citadas acima e o tempo de contato.

Tabela 5.16 - Relação entre nitrato, nitrito, N amoniacal e N orgânico e os tempos de contato.

	Agrupamento Tukey ⁽¹⁾	Médias ⁽²⁾	N ⁽³⁾	Tempo de contato (min) ⁽⁴⁾
Nitrato (mg L ⁻¹)	A	4,28	10	60
	A	4,06	10	45
	A	3,77	10	30
Nitrito (mg L ⁻¹)	A	0,013	10	60
	A	0,011	10	30
	A	0,007	10	45
N amoniacal (mg L ⁻¹)	A	19,43	10	45
	A	19,10	10	60
	A	16,92	10	30
N orgânico (mg L ⁻¹)	A	2,17	10	60
	A	1,87	10	30
	A	1,17	10	45

(1) Significa que os resultados foram agrupados através das letras em maiúsculo; (2) Médias obtidas das análises realizadas; (3) Número de análises realizadas para cada tempo de contato estudado; (4) Tempo de contato em minutos.

Verifica-se que o tempo de contato não é um bom tratamento, pois neste caso, em média, pela estatística, todos os resultados são considerados iguais. Portanto, para a análise da série de nitrogênio o tempo de contato não tem influência nos resultados.

5.1.9 Demanda química de oxigênio (DQO)

A análise de DQO é uma variável importante nesse trabalho por se tratar de destruição de organismos patogênicos. A matéria orgânica pode sofrer degradação química de acordo com o desinfetante aplicado. Alguns problemas técnicos aconteceram ao ser realizado esta análise, por falta de reagentes não foi possível testar a dosagem de 28 e 32 mg L⁻¹ de hipoclorito de cálcio. Foram realizadas análises de DQO bruta e filtrada. A primeira como foi dita anteriormente é feita na amostra “in natura” e a segunda é realizada quando a amostra é filtrada. Porém, através das figuras 5.15 e 5.16 pode-se observar a variação da DQO bruta e filtrada, respectivamente, com relação à variação da dosagem de hipoclorito de cálcio em tempos de contato de 30, 45 e 60 minutos.

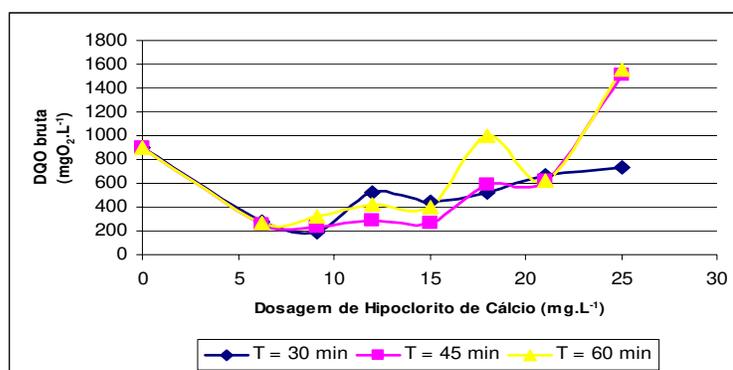


Figura 5.15 – Variação da DQO_b (mg O₂ L⁻¹) versus dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L⁻¹).

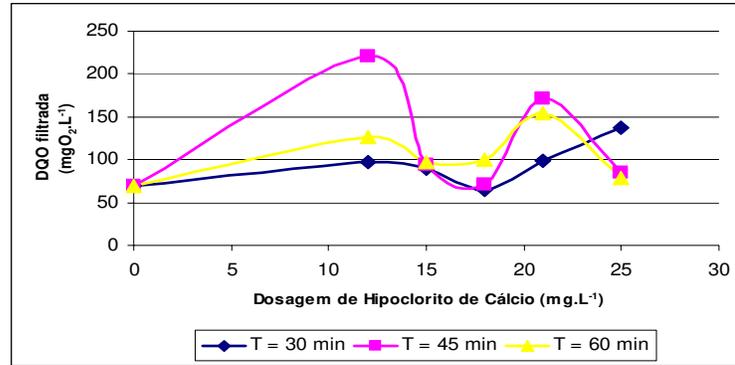


Figura 5.16 – Variação da DQO_f (mg O₂ L⁻¹) versus dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L⁻¹).

Verificou-se pela figura 5.15 é que há uma diminuição da DQO bruta com o aumento da dosagem de hipoclorito de cálcio. A DQO bruta varia de 896,7 a 250,0 mg O₂ L⁻¹. A DQO bruta do efluente bruto da lagoa, ou seja, sem desinfecção, em média, variou em torno de 897 mg O₂ L⁻¹ se for considerado remoção de matéria orgânica, houve uma diminuição de 72,2%. Com relação à variação da DQO filtrada houve uma variação nos valores se for considerada a variação do tempo de contato. Análises estatísticas foram realizadas e as tabelas 5.17 e 5.18 apresentam uma relação entre a DQO bruta e filtrada e as dosagens de hipoclorito de cálcio aplicado e os tempos de contato, respectivamente.

Tabela 5.17 - Relação entre a DQO bruta e filtrada e as dosagens de hipoclorito de cálcio aplicado.

		Agrupamento Tukey ⁽¹⁾	Médias ⁽²⁾	N ⁽³⁾	Dosagem aplicada (mg L ⁻¹) ⁽⁴⁾
DQO bruta (mg O ₂ L ⁻¹)		A	1267,0	3	25
		A B	896,7	3	0
		B C	701,8	3	18
		B C	636,7	3	21
		B C	409,4	3	12
		B C	369,6	3	15
		C	266,9	3	6,2
		C	250,0	3	9,1
DQO filtrada (mg O ₂ L ⁻¹)		A	148,00	3	6,2
		A	141,74	3	15
		A	100,00	3	18
		A	93,32	3	9,1
		A	78,72	3	12
		A	69,12	3	0

(1) Significa que os resultados foram agrupados através das letras em maiúsculo; (2) Médias obtidas das análises realizadas; (3) Número de análises realizadas para cada dosagem aplicada; (4) Dosagem de hipoclorito de cálcio aplicada em mg L⁻¹.

Tabela 5.18 - Relação entre a variável estudada (DQO bruta e filtrada) e os tempos de contato.

		Agrupamento Tukey ⁽¹⁾	Médias ⁽²⁾	N ⁽³⁾	Tempo de contato (min) ⁽⁴⁾
DQO bruta (mg O ₂ L ⁻¹)		A	686,20	8	60
		A	581,18	8	45
		A	531,93	8	30
DQO filtrada (mg O ₂ L ⁻¹)		A	118,37	6	45
		A	104,38	6	60
		A	92,70	6	30

(1) Significa que os resultados foram agrupados através das letras em maiúsculo; (2) Médias obtidas das análises realizadas; (3) Número de análises realizadas para cada tempo de contato estudado; (4) Tempo de contato em minutos.

5.1.10 Fósforo total

De acordo com a CONAMA 357/05 algumas alterações na norma foram realizadas para a variável fósforo total. Para se saber se o efluente está dentro da norma é necessário classificar o ambiente em que o efluente será lançado. O ambiente pode ser classificado como: ambiente lântico, ambiente intermediário e ambiente lótico. As definições assim propostas pela atual resolução CONAMA 357 de 2005 é:

- Ambiente lântico: ambiente que se refere à água parada, como movimento lento ou estagnado;
- Ambiente lótico: ambiente relativo a águas continentais moventes;
- Ambiente intermediário: uma ambiente entre lântico e lótico, ou seja, com tempo de residência entre 2 e 40 dias, e tributários diretos de ambiente lântico.

A concentração máxima permitida para a variável fósforo total em corpos receptores de classe 2 é: ambiente lântico é $0,030 \text{ mg L}^{-1}$ de P e para ambiente intermediário é de $0,050 \text{ mg L}^{-1}$. A figura 5.17 apresenta a variação de fósforo total em miligramas por litro com relação à dosagem de hipoclorito de cálcio em miligramas por litro.

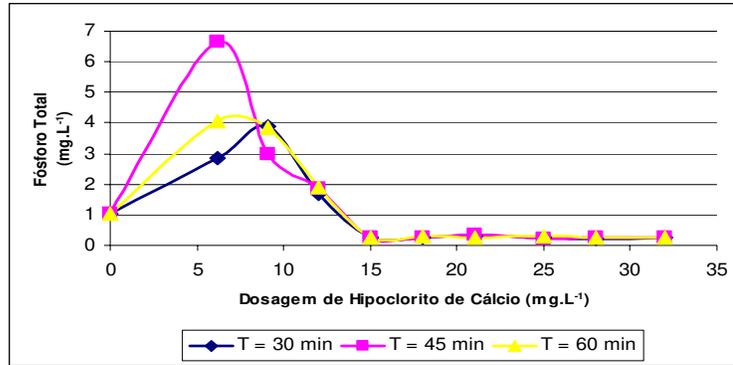


Figura 5.17 – Variação de fósforo total (mg L^{-1}) versus dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L^{-1}).

Ao analisar visualmente a figura 5.17 observa-se que para todas as dosagens aplicadas a quantidade de fósforo total foi superior ao máximo que a legislação vigente recomenda. O que se percebe é que com o aumento da dosagem a quantidade de fósforo total em miligramas por litro diminui consideravelmente, chegando a uma quantidade de $0,25 \text{ mg L}^{-1}$. O inconveniente da técnica utilizada para análise – Método ácido ascórbico – é na digestão das amostras, que pode contaminar todas as amostras por conta do aquecimento dos ácidos adicionados. Análises estatísticas foram realizadas e a tabela 5.19 apresenta a relação entre o fósforo total e as dosagens de hipoclorito de cálcio utilizadas.

Tabela 5.19 - Relação entre o fósforo total e as dosagens de hipoclorito de cálcio aplicadas.

		Agrupamento Tukey ⁽¹⁾	Médias ⁽²⁾	N ⁽³⁾	Dosagem aplicada (mg L ⁻¹) ⁽⁴⁾
Fósforo total (mg L ⁻¹)		A	4,5300	3	6,2
		A B	3,5800	3	9,1
		B C	1,8133	3	12
		C	1,0600	3	0
		C	0,3000	3	21
		C	0,2700	3	18
		C	0,2667	3	25
		C	0,2633	3	15
		C	0,2600	3	32
		C	0,2467	3	28

(1) Significa que os resultados foram agrupados através das letras em maiúsculo; (2) Médias obtidas das análises realizadas; (3) Número de análises realizadas para cada dosagem aplicada; (4) Dosagem de hipoclorito de cálcio aplicada em mg L⁻¹.

Por meio da tabela 5.19 nota-se que em média os resultados podem ser agrupados em três grupos distintos, denominados A, B e C. Dosagens superiores a 15 mg L⁻¹ de hipoclorito de cálcio apresentam quantidades de fósforo total menores, porém, não atingem a norma vigente. O que se pode concluir é que com o aumento da dosagem de hipoclorito de cálcio diminui-se a concentração de fósforo total e isso se deve ao fato do cálcio presente no hipoclorito precipita o fósforo dando origem ao sal Ca₃(PO₄)₂.

Outra comparação foi feita com relação ao tempo de contato estudado e foi exemplificado na tabela 5.20 que apresenta a relação entre o fósforo total e o tempo de contato.

Tabela 5.20 - Relação entre a variável estudada (fósforo total) e os tempos de contato

Fósforo total (mg L ⁻¹)	Agrupamento Tukey ⁽¹⁾	Médias ⁽²⁾	N ⁽³⁾	Tempo de contato (min) ⁽⁴⁾
		A	1,4200	10
	A	1,2490	10	60
	A	1,1080	10	30

(1) Significa que os resultados foram agrupados através das letras em maiúsculo; (2) Médias obtidas das análises realizadas; (3) Número de análises realizadas para cada tempo de contato estudado; (4) Tempo de contato em minutos.

Ao analisar a tabela 5.20 pode-se observar que o tempo de contato não é um fator interferente nesse caso. Ou seja, independentemente do tempo de contato entre o hipoclorito de cálcio e o efluente da lagoa anaeróbia não tem significância estatística, em média, estatisticamente são iguais.

5.1.11 Sólidos totais

Como já dito em capítulo anterior, os sólidos totais é a soma dos sólidos totais fixos e sólidos totais voláteis. A concentração média dos sólidos totais para o efluente bruto, ou seja, sem desinfecção, é de 828,73 mg L⁻¹. A figura 5.18 apresenta a variação de sólidos totais com relação à dosagem de hipoclorito de cálcio em miligramas por litro.

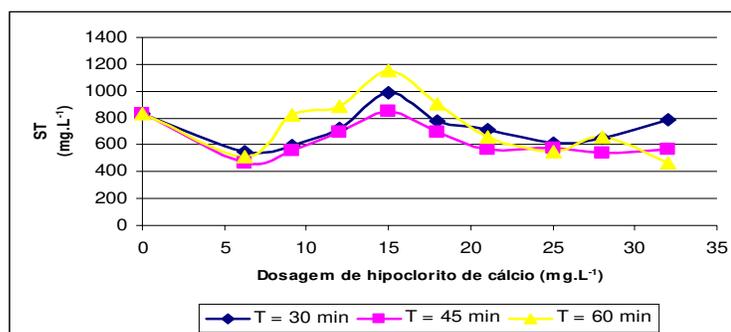


Figura 5.18 – Variação de sólidos totais (mg L⁻¹) versus dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L⁻¹).

O que se pode concluir é que o tempo de contato não é um tratamento interferente nesse caso, porem há um aumento geral, quando houve a aplicação da dosagem de 15 mg L⁻¹ de hipoclorito de cálcio. Isso pode ter sido ocasionado pela coleta, que pode ser acontecido em dias onde houve uma grande concentração de sólidos na água. As figuras 5.19 e 5.20 apresentam a variação de sólidos totais fixos e voláteis, respectivamente, com relação à dosagem de hipoclorito de cálcio aplicado.

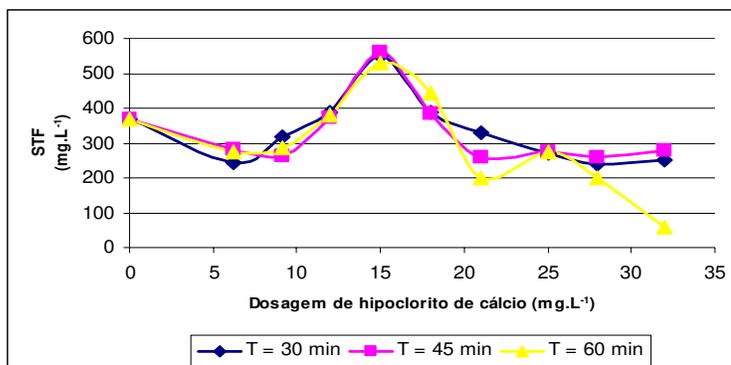


Figura 5.19 – Variação de sólidos totais fixos (mg L⁻¹) versus dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L⁻¹).

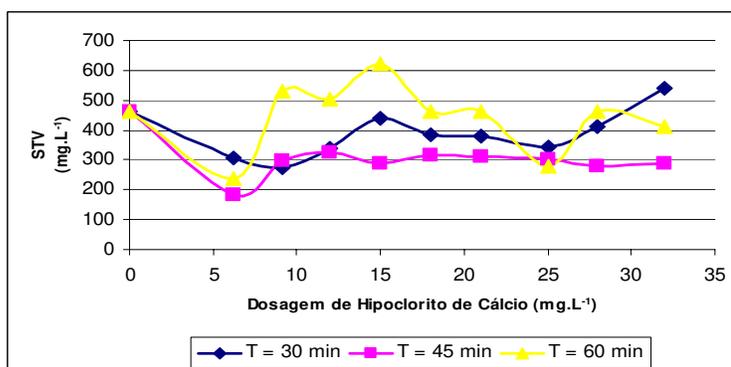


Figura 5.20 – Variação de sólidos totais voláteis (mg L⁻¹) versus dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L⁻¹).

Através da figura 5.19 verifica-se através da quantidade de sólidos totais fixos que na dosagem de 15 mg L⁻¹ foi maior, ocasionado pela possível grande quantidade de sólidos em água. Análises estatísticas foram feitas e estão exemplificadas nas tabelas 5.21 e 5.22 que mostra a relação entre as variáveis: sólidos totais,

sólidos totais fixos e sólidos totais voláteis e a dosagem de hipoclorito de cálcio e o tempo de contato aplicado, respectivamente.

Tabela 5.21 – Relação entre as variáveis: sólidos totais, sólidos totais fixos e sólidos totais voláteis e a dosagem de hipoclorito de cálcio.

	Agrupamento Tukey ⁽¹⁾			Médias ⁽²⁾	N ⁽³⁾	Dosagem aplicada (mg L ⁻¹) ⁽⁴⁾	
ST (mg L ⁻¹)	A			996,67	3	15	
	A	B		828,73	3	0	
	A	B		793,33	3	18	
		B		768,85	3	12	
		B	C	657,17	3	9,1	
		B	C	646,67	3	21	
		B	C	616,67	3	28	
		B	C	610,00	3	32	
		B	C	580,00	3	25	
			C	509,53	3	6,2	
STF (mg L ⁻¹)	A			546,67	3	15	
		B		406,67	3	18	
		B	C	380,03	3	12	
		B	C	367,73	3	0	
		B	C	D	289,00	3	9,1
		B	C	D	273,33	3	25
			C	D	265,57	3	6,2
			C	D	263,33	3	21
				D	233,33	3	28
				D	196,67	3	32
STV (mg L ⁻¹)	A			461,00	3	0	
	A	B		450,00	3	15	
	A	B		413,33	3	32	
	A	B		388,83	3	12	
	A	B		386,67	3	18	
	A	B		383,33	3	21	
	A	B		383,33	3	28	
	A	B		368,17	3	9,1	
	A	B		308,33	3	25	
		B		243,97	3	6,2	

(1) Significa que os resultados foram agrupados através das letras em maiúsculo; (2) Médias obtidas das análises realizadas; (3) Número de análises realizadas para cada dosagem aplicada; (4) Dosagem de hipoclorito de cálcio aplicada em mg L⁻¹.

Tabela 5.22 - Relação entre as variáveis: sólidos totais, sólidos totais fixos e sólidos totais voláteis e a dosagem de hipoclorito de cálcio dos totais voláteis e os tempos de contato.

	Agrupamento Tukey ⁽¹⁾		Médias ⁽²⁾	N ⁽³⁾	Tempo de contato (min) ⁽⁴⁾
ST (mg L ⁻¹)	A		743,90	10	60
	A	B	723,07	10	30
	B		635,31	10	45
STF (mg L ⁻¹)	A		334,53	10	30
	A		330,11	10	45
	A		302,06	10	60
STV (mg L ⁻¹)	A		442,35	10	60
	A	B	388,54	10	30
	B		305,20	10	45

(1) Significa que os resultados foram agrupados através das letras em maiúsculo; (2) Médias obtidas das análises realizadas; (3) Número de análises realizadas para cada tempo de contato estudado; (4) Tempo de contato em minutos.

5.1.12 Sólidos suspensos

Os Sólidos Suspensos Totais (SST) são a soma de Sólidos Suspensos Fixos (SSF) e Sólidos Suspensos Voláteis (SSV). As figuras 5.21, 5.22 e 5.23 apresentam a variação de sólidos suspensos totais, fixos e voláteis, respectivamente, em relação à dosagem de hipoclorito de cálcio e miligramas por litro.

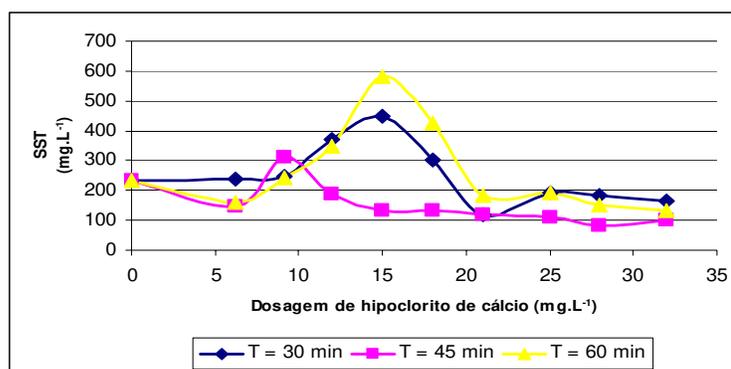


Figura 5.21 – Variação de sólidos suspensos totais (mg L⁻¹) versus dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L⁻¹).

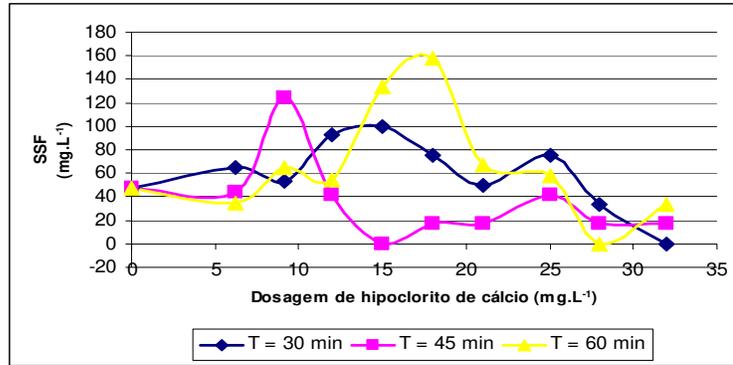


Figura 5.22 – Variação de sólidos suspensos fixos (mg L^{-1}) versus dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L^{-1}).

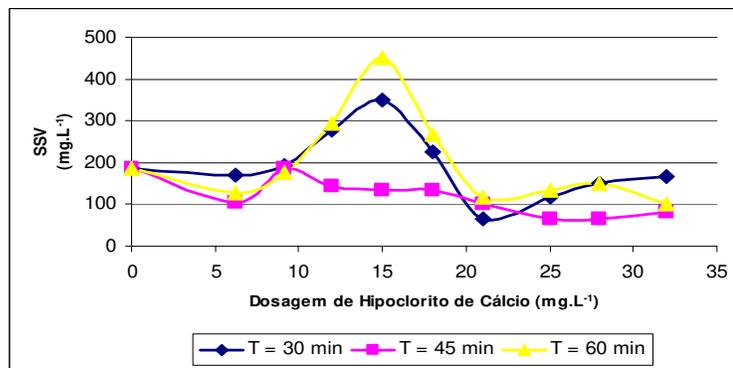


Figura 5.23 – Variação de sólidos suspensos voláteis (mg L^{-1}) versus dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L^{-1}).

Análises estatísticas foram realizadas para analisar a dosagem de hipoclorito de cálcio aplicada e a variação dos tempos de contato com relação as variáveis sólidos suspensos totais, fixos e voláteis (veja tabela 5.23 e 5.24).

Tabela 5.23 - Relação entre as variáveis sólidos suspensos totais, fixos e voláteis e a dosagem de hipoclorito de cálcio aplicadas.

	Agrupamento Tukey ⁽¹⁾		Médias ⁽²⁾	N ⁽³⁾	Dosagem aplicada (mg L ⁻¹) ⁽⁴⁾
SST (mg L ⁻¹)	A		388,89	3	15
	A	B	301,59	3	12
	A	B	286,11	3	18
	A	B	265,89	3	9,1
	A	B	232,25	3	0
	A	B	181,66	3	6,2
	A	B	163,89	3	25
		B	138,89	3	21
		B	138,89	3	28
		B	133,33	3	32
SSF (mg L ⁻¹)	A		83,34	3	18
	A		81,05	3	9,1
	A		77,78	3	15
	A		63,36	3	12
	A		58,33	3	25
	A		48,00	3	6,2
	A		47,46	3	0
	A		44,45	3	21
	A		16,67	3	28
	A		16,67	3	32
SSV (mg L ⁻¹)	A		311,11	3	15
	A	B	238,24	3	12
	A	B	208,33	3	18
	A	B	184,83	3	9,1
	A	B	184,80	3	0
		B	133,67	3	6,2
		B	122,22	3	28
		B	116,67	3	32
		B	105,56	3	25
		B	94,45	3	21

(1) Significa que os resultados foram agrupados através das letras em maiúsculo; (2) Médias obtidas das análises realizadas; (3) Número de análises realizadas para cada dosagem aplicada; (4) Dosagem de hipoclorito de cálcio aplicada em mg L⁻¹.

Tabela 5.24 - Relação entre as variáveis sólidos suspensos totais, fixos e voláteis e os tempos de contato.

	Agrupamento Tukey ⁽¹⁾	Médias ⁽²⁾	N ⁽³⁾	Tempo de contato (min) ⁽⁴⁾
SST (mg L ⁻¹)	A	265,05	10	60
	A	249,15	10	30
	B	155,22	10	45
SSF (mg L ⁻¹)	A	65,18	10	60
	A	59,30	10	30
	A	36,65	10	45
SSV (mg L ⁻¹)	A	199,88	10	60
	A	189,85	10	30
	B	120,24	10	45

(1) Significa que os resultados foram agrupados através das letras em maiúsculo; (2) Médias obtidas das análises realizadas; (3) Número de análises realizadas para cada tempo de contato estudado; (4) Tempo de contato em minutos.

Ao analisar as figuras 5.21, 5.22 e 5.23 e as tabelas 5.23 e 5.24 o que pode se concluir é que o tempo de contato para a análise de SST e SSV apresentam resultados diferentes, portanto, nesses casos, e o tempo de contato interfere no resultado final. Com relação ao SSF o tempo de contato não é um tratamento importante, pois em média eles são considerados iguais, por parte da estatística. Com relação às dosagens aplicadas percebe-se juntamente com a análise de sólidos totais que em torno da dosagem de 15 mg L⁻¹ apresenta uma grande quantidade de sólidos suspensos. Analisando as médias dos sólidos suspensos, percebe-se que quanto maior dosagem menor é a quantidade de sólidos suspensos. Outro fator importante a ser analisado nesse caso, é a relação dos sólidos em suspensão e a turbidez. A turbidez foi uma variável que não atendeu a norma vigente. Turbidez alta significa quantidade de sólidos em suspensão alta.

5.1.13 Oxigênio dissolvido (OD)

A análise de oxigênio dissolvido não foi completamente feita por problemas operacionais. Foram realizadas análises de OD para dosagens de hipoclorito de cálcio a partir de 12 mg L⁻¹, e serão exemplificadas na figura 5.24 que mostra a variação do oxigênio dissolvido (mg O₂ L⁻¹) em relação à dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L⁻¹).

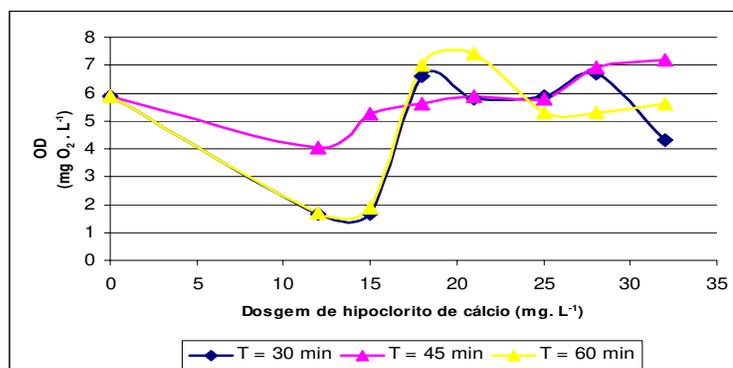


Figura 5.24 – Variação do oxigênio dissolvido (mg O₂ L⁻¹) versus dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L⁻¹).

De acordo com a CONAMA 357/05 valores de OD para padrões de qualidade da água de classe 1 não deve ser inferior a 6 mg L⁻¹ de O₂ e para classe 2 esse valor não dever ser inferior a 5 mg L⁻¹ de O₂. O que se pode observar através da figura 5.24 é que dosagens de 12 e 15 mg L⁻¹ de hipoclorito de cálcio não se adequam a norma vigente. Para alcançar valores permissíveis pela norma vigente é necessário valores acima de 18 mg L⁻¹ de hipoclorito de cálcio. Resultados não mais conclusivos podem ser retirados desses dados por questões experimentais, porém, imagina-se que problemas com o oxímetro tenha resultado em valores não esperados.

5.1.14 Coliformes – *E. coli* e totais

Essa variável é a mais importante no sentido de se saber se a desinfecção foi realmente eficaz e se a dosagem aplicada atingiu os valores recomendados pela CONAMA 357/05 e pela OMS (1989), que diz que para padrões de lançamento em rios de classe 2 quantidade de *E. coli* não deve ultrapassar 1000 organismos por cada 100 mililitros de amostra, este também é um padrão para reúso em culturas agrícolas. As figuras 5.25 e 5.26 apresentam a variação da concentração de *E. coli* e coliformes totais (NMP 100 mL⁻¹) com relação à dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L⁻¹), respectivamente.

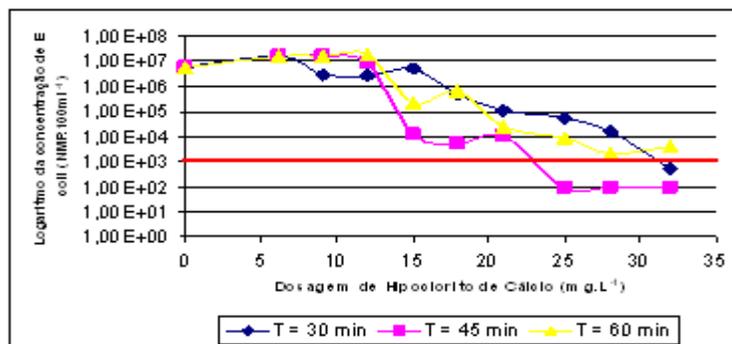


Figura 5.25 – Variação do Log da concentração de *E. coli* (NMP 100mL⁻¹) versus dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L⁻¹).

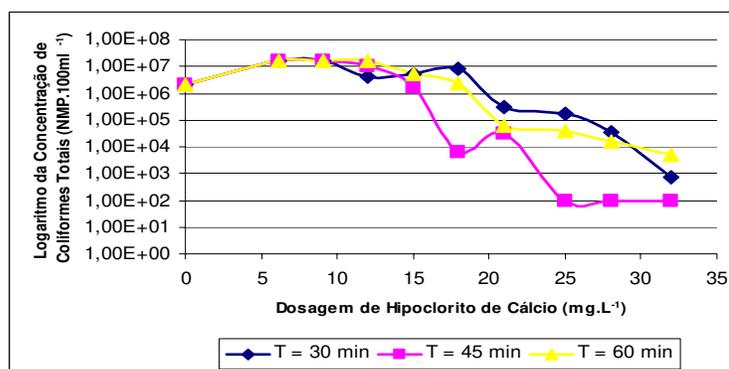


Figura 5.26 – Variação da concentração de Coliformes Totais (NMP 100mL⁻¹) versus dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L⁻¹).

O que pode-se perceber através da figura 5.25 é que para tempo de contato de 45 minutos o resultado esperado foi alcançado a partir da adição de 25 mg L⁻¹ de hipoclorito de cálcio. Para tempos de contato de 30 e 60 minutos os resultados foram obtidos com dosagens iguais ou superiores a 32 mg L⁻¹ de hipoclorito de cálcio. Nesse caso, é importante salientar que dosagens de hipoclorito de cálcio superiores a 32 mg L⁻¹ não foram testadas por problemas experimentais.

Análises estatísticas foram realizadas e os resultados estão na tabela 5.25 e 5.26 que mede a relação entre *E. coli* e coliformes totais com a dosagem de hipoclorito de cálcio aplicada e o tempo de contato, respectivamente.

Tabela 5.25 - Relação entre o *E. coli* e coliformes totais e as dosagens de hipoclorito de cálcio aplicado.

	Agrupamento Tukey ⁽¹⁾			Médias ⁽²⁾	N ⁽³⁾	Dosagem aplicada (mg L ⁻¹) ⁽⁴⁾
<i>E. coli</i> (NMP 100 mL ⁻¹)	A			1,60 E+ 07	3	6,2
	A B			1,12 E+ 07	3	9,1
	A B C			9,66 E+ 06	3	12
	A B C			6,16 E+ 06	3	0
	B C			1,74 E+ 06	3	15
	C			3,90 E+ 05	3	18
	C			4,74 E+ 04	3	21
	C			2,04 E+ 04	3	25
	C			6,10 E+ 03	3	28
	C			1,53 E+ 03	3	32
Coliformes totais (NMP 100 mL ⁻¹)	A			1,60 E+ 07	3	6,2
	A			1,60 E+ 07	3	9,1
	A B			1,02 E+ 07	3	12
	B C			3,87 E+ 06	3	15
	B C			3,53 E+ 06	3	18
	C			2,14 E+ 06	3	0
	C			1,37 E+ 05	3	21
	C			7,06 E+ 04	3	25
	C			1,76 E+ 04	3	28
	C			1,90 E+ 03	3	32

(1) Significa que os resultados foram agrupados através das letras em maiúsculo; (2) Médias obtidas das análises realizadas; (3) Número de análises realizadas para cada dosagem aplicada; (4) Dosagem de hipoclorito de cálcio aplicada em mg L⁻¹.

Tabela 5.26 - Relação entre o *E. coli* e coliformes totais e os tempos de contato.

	Agrupamento Tukey ⁽¹⁾	Médias ⁽²⁾	N ⁽³⁾	Tempo de contato (min) ⁽⁴⁾
<i>E. coli</i> (NMP 100 mL ⁻¹)	A	5,73 E+ 06	10	60
	A	4,63 E+ 06	10	45
	A	3,34 E+ 06	10	30
Coliformes totais (NMP 100 mL ⁻¹)	A	5,77 E+ 06	10	60
	A	5,18 E+ 06	10	30
	A	4,63 E+ 06	10	45

(1) Significa que os resultados foram agrupados através das letras em maiúsculo; (2) Médias obtidas das análises realizadas; (3) Número de análises realizadas para cada tempo de contato estudado; (4) Tempo de contato em minutos.

Embora os resultados desejados tenham sido obtidos com o tempo de 45 minutos e dosagem acima de 25 mg L⁻¹ de hipoclorito de cálcio visto pela figura 5.25, as médias para os tempos de contato não se diferem estatisticamente, ou seja, a redução independe do tempo, sendo que a redução dos coliformes está apenas influenciada pela dosagem (25, 28 e 32), embora não atinjam, em média, valores abaixo de 1000. O que pode-se ver aqui é uma interação dos fatores, ou seja, os valores de coliforme desejados são conseguidos com tempo de contato 45 minutos e dosagens 25, 28 e 32.

5.1.15 Helmintos e Protozoários

As análises de helmintos e protozoários foram realizadas nessa pesquisa no sentido de se saber qual é a efetividade do cloro nesses organismos. O que se sabe é que o cloro é muito eficaz na inativação de bactérias e vírus, porém, não é efetivo na inativação de protozoários e helmintos. Os organismos foram identificados com a consulta à literatura especializada. Os resultados foram expressos como número de ovos e/ou larvas de helmintos e cistos de protozoários por 1000 mL. As figuras 5.27,

5.28 e 5.29 apresentam a concentração de *Entamoeba. Coli*, ovos de *Ancilostomatídeos* e larvas de nematóides por 1000 mL com relação à dosagem de hipoclorito de cálcio aplicada, respectivamente.

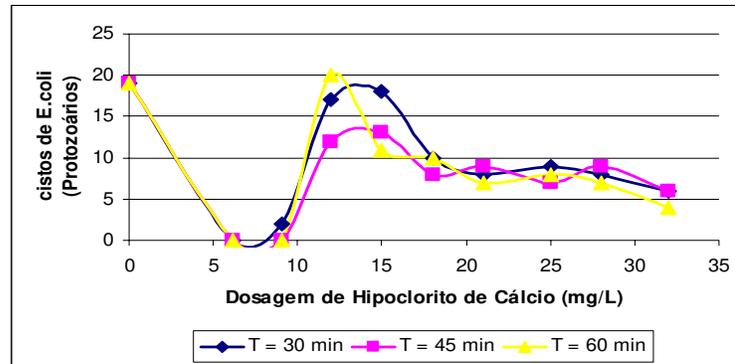


Figura 5.27 – Variação da concentração de cistos de *Entamoeba coli* em 1000 mL^{-1} versus dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L^{-1}).

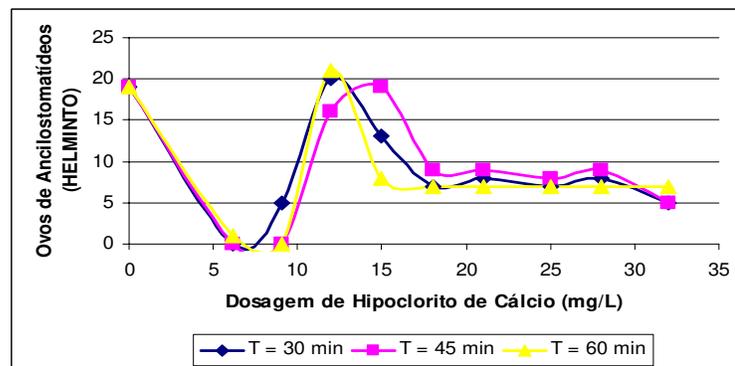


Figura 5.28 – Variação da concentração de ovos de *Ancilostomatídeos* em 1000 mL^{-1} versus dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L^{-1}).

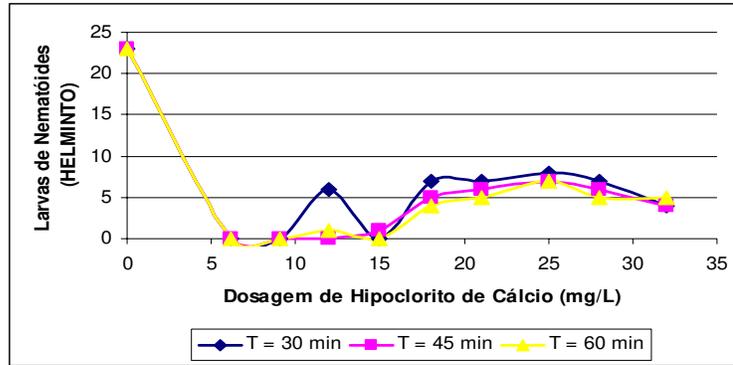


Figura 5.29 – Variação da concentração de larvas de *nematóides* em 1000 mL⁻¹ versus dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L⁻¹).

Foram analisados apenas esses três organismos e análises estatísticas foram realizadas, a tabela 5.27 e 5.28 apresentam a relação entre as variáveis: cistos de *Entamoeba coli*, ovos de *Ancilostomatídeos* e larvas de *nematóides* com relação a dosagem de hipoclorito de cálcio e o tempo de contato aplicado, respectivamente.

Tabela 5.27 – Relação entre as variáveis: cistos de *Entamoeba coli*, ovos de *Ancilostomatídeos* e larvas de *nematóides* e as dosagens de hipoclorito de cálcio aplicado.

		Agrupamento Tukey ⁽¹⁾	Médias ⁽²⁾	N ⁽³⁾	Dosagem aplicada (mg L ⁻¹) ⁽⁴⁾	
Cistos de <i>Entamoeba coli</i>	A		19	3	0	
	A		16	3	12	
	A	B	14	3	15	
		B	C	9	3	18
			C	8	3	21
			C	8	3	25
			C	8	3	28
			C	5	3	32
			D	0	3	9,1
			D	0	3	6,2
Ovos de <i>Ancilostomatídeos</i>	A		19	3	0	
	A		19	3	12	
	A	B	13	3	15	
		B	C	8	3	21
		B	C	8	3	28
		B	C	7	3	18
		B	C	7	3	25
			C	5	3	32
			C	1	3	9,1
			D	0	3	6,2
Larvas de <i>nematóides</i>	A		23	3	0	
		B	7	3	25	
		B	6	3	28	
		B	6	3	21	
		B	C	5	3	18
		B	C	4	3	32
			C	2	3	12
			D	0	3	15
			D	0	3	6,2
			D	0	3	9,1

(1) Significa que os resultados foram agrupados através das letras em maiúsculo; (2) Médias obtidas das análises realizadas; (3) Número de análises realizadas para cada dosagem aplicada; (4) Dosagem de hipoclorito de cálcio aplicada em mg L⁻¹.

Pela análise estatística, o que se percebe é que a quantidade de organismos no efluente bruto, ou seja, sem desinfecção foi a maior encontrada. Porém, em alguns casos, em dosagens de 6,2 e 9,1 mg L⁻¹ foram encontrados a menor quantidade de organismos. O que pode ter acontecido é que a amostra separada para a análise não foi suficiente ou não representativa. Visualmente o que se percebe é que após dosagem de 18 mg L⁻¹ a quantidade de organismos tanto de helminto quanto de protozoários diminui. Vale ressaltar que a análise foi feita para se saber sobre presença e ausência desses organismos, portanto, estudos mais aprofundados serão necessários pra que se tenham melhores conclusões, pois, de acordo com literatura pesquisada o cloro não tem eficiência nenhuma com relação aos protozoários e helmintos.

Tabela 5.28 – Relação entre as variáveis: cistos de *Entamoeba coli*, ovos de *Ancilostomatídeos* e larvas de *nematóides* e os tempos de contato.

	Agrupamento Tukey ⁽¹⁾	Médias ⁽²⁾	N ⁽³⁾	Tempo de contato (min) ⁽⁴⁾
Cistos de <i>E. coli</i>	A	10	10	30
	A	9	10	60
	A	8	10	45
Ovos de <i>Ancilostoma</i>	A	9	10	45
	A	9	10	30
	A	8	10	60
Larva <i>nematóide</i>	A	6	10	30
	A	5	10	45
	A	5	10	60

(1) Significa que os resultados foram agrupados através das letras em maiúsculo; (2) Médias obtidas das análises realizadas; (3) Número de análises realizadas para cada tempo de contato estudado; (4) Tempo de contato em minutos.

Por meio da relação entre as variáveis e o tempo de contato o que se pode concluir que o tempo de contato não é um tratamento influenciável.

5.1.16 Verificação dos resultados da lagoa anaeróbia realizando os testes de desinfecção no efluente diretamente na cidade de Franca – SP.

Uma dúvida levantada ao decorrer da pesquisa era com relação à mudança ou não das características do efluente ao ser transportado da cidade de Franca – SP até Campinas – SP. Em janeiro de 2007 foram realizadas em Franca – SP no laboratório da ETE – Franca administrada pela SABESP os testes de desinfecção e descloração para enfim comparar os resultados obtidos. Utilizou-se dosagem de hipoclorito de cálcio fixada em 32 mg L^{-1} por se tratar de um resultado estudado neste trabalho e que alcança os padrões estabelecidos pela CONAMA 357/05 e pela OMS (1989). As análises realizadas em Franca foram as seguintes: cloro residual total, pH, condutividade, temperatura, turbidez, DQO bruta, Oxigênio dissolvido, *E. coli*, coliformes totais e descloração. Os resultados obtidos estão apresentados em forma de tabelas e posteriormente serão discutidos.

5.1.16.1 Cloro residual total

Foram realizadas análises de cloro residual total para o efluente bruto da lagoa anaeróbia e para o efluente desinfetado com 32 mg L^{-1} de hipoclorito de cálcio. A tabela 5.29 apresenta a variação da concentração de cloro residual total, com a dosagem de hipoclorito de cálcio variando-se o tempo de contato em 30,45 e 60 minutos.

Tabela 5.29 - Variação da concentração de cloro residual total, com a dosagem de hipoclorito de cálcio variando-se o tempo de contato em 30,45 e 60 minutos.

Amostra	Dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L ⁻¹)	Tempo de Contato (min)	Cloro residual total (mg L ⁻¹)
Esgoto Bruto	-	-	0,22
1	32	30	0,08
2	32	45	0,15
3	32	60	0,06

Verifica-se que a concentração de cloro residual total não foi satisfatória de acordo com a CONAMA 357/05, portanto, verificou-se que há a necessidade de se implantar uma etapa de descloração.

5.1.16.2 pH

O pH foi medido e a tabela 5.30 apresenta a variação do pH com a dosagem de hipoclorito de cálcio variando-se o tempo de contato em 30,45 e 60 minutos.

Tabela 5.30 - Variação do pH com a dosagem de hipoclorito de cálcio variando-se o tempo de contato em 30,45 e 60 minutos.

Amostra	Dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L ⁻¹)	Tempo de Contato (min)	pH
Esgoto Bruto	-	-	6,85
1	32	30	6,88
2	32	45	6,90
3	32	60	6,97

5.1.16.3 Temperatura

A tabela 5.31 apresenta a variação da temperatura com a dosagem de hipoclorito de cálcio variando-se o tempo de contato em 30,45 e 60 minutos.

Tabela 5.31 - Variação da temperatura com a dosagem de hipoclorito de cálcio variando-se o tempo de contato em 30,45 e 60 minutos.

Amostra	Dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L ⁻¹)	Tempo de Contato (min)	Temperatura (°C)
Esgoto Bruto	-	-	25
1	32	30	23
2	32	45	24
3	32	60	25

5.1.16.4 Condutividade

A tabela 5.32 apresenta a variação da condutividade, com a dosagem de hipoclorito de cálcio variando-se o tempo de contato em 30,45 e 60 minutos.

Tabela 5.32 - Variação da condutividade, com a dosagem de hipoclorito de cálcio variando-se o tempo de contato em 30,45 e 60 minutos.

Amostra	Dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L ⁻¹)	Tempo de Contato (min)	Condutividade (μS cm ⁻²)
Esgoto Bruto	-	-	610
1	32	30	640
2	32	45	630
3	32	60	650

5.1.16.5 Turbidez

A tabela 5.33 apresenta a variação turbidez com a dosagem de hipoclorito de cálcio variando-se o tempo de contato em 30,45 e 60 minutos.

Tabela 5.33 - Variação da turbidez com a dosagem de hipoclorito de cálcio variando-se o tempo de contato em 30,45 e 60 minutos.

Amostra	Dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L ⁻¹)	Tempo de Contato (min)	Turbidez (UNT)
Esgoto Bruto	-	-	122
1	32	30	180
2	32	45	116
3	32	60	152

5.1.16.6 Oxigênio dissolvido (OD)

A tabela 5.34 apresenta a variação do oxigênio dissolvido com a dosagem de hipoclorito de cálcio variando-se o tempo de contato em 30,45 e 60 minutos.

Tabela 5.34 - Variação do OD com a dosagem de hipoclorito de cálcio variando-se o tempo de contato em 30,45 e 60 minutos.

Amostra	Dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L ⁻¹)	Tempo de Contato (min)	OD (mg O ₂ L ⁻¹)
Esgoto Bruto	-	-	0,97
1	32	30	4,23
2	32	45	4,31
3	32	60	5,24

5.1.16.7 Demanda química de oxigênio (DQO_b)

A tabela 5.35 apresenta a variação da demanda química de oxigênio bruta com a dosagem de hipoclorito de cálcio variando-se o tempo de contato em 30,45 e 60 minutos.

Tabela 5.35 - Variação da DQObruta com a dosagem de hipoclorito de cálcio variando-se o tempo de contato em 30,45 e 60 minutos.

Amostra	Dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L ⁻¹)	Tempo de Contato (min)	DQO (mgO ₂ L ⁻¹)
Esgoto Bruto	-	-	560
1	32	30	470
2	32	45	582
3	32	60	418

5.1.16.8 Coliformes - *E. coli* e coliformes totais

5.1.16.8.1 *E. coli*

A tabela 5.36 apresenta a variação do Log da concentração de *E. coli* (NMP 100 mL⁻¹) com a dosagem de hipoclorito de cálcio variando-se o tempo de contato em 30,45 e 60 minutos.

Tabela 5.36 - Variação do Log da concentração de E. coli (NMP. 100mL⁻¹) com a dosagem de hipoclorito de cálcio variando-se o tempo de contato em 30,45 e 60 minutos.

Amostra	Dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L ⁻¹)	Tempo de Contato (min)	E. coli (NMP 100 mL ⁻¹)
Esgoto Bruto	-	-	4,19 E+06
1	32	30	< 1,00 E+02
2	32	45	< 1,00 E+02
3	32	60	2,00 E+02

Verificou-se que em todos dos casos independente da variação do tempo de contato a dosagem de 32 mg L⁻¹ de hipoclorito de cálcio foi suficiente para atingir os padrões estabelecidos pela CONAMA 357/05 de E. coli ≤ 10³ NMP 100 mL⁻¹ de amostra.

5.1.16.8.2 Coliformes totais

A tabela 5.37 apresenta a variação do Log da concentração de coliformes totais (NMP 100 mL⁻¹) com a dosagem de hipoclorito de cálcio variando-se o tempo de contato em 30,45 e 60 minutos.

Tabela 5.37 - Variação do Log da concentração de coliformes totais (NMP. 100ml⁻¹) com a dosagem de hipoclorito de cálcio variando-se o tempo de contato em 30,45 e 60 minutos.

Amostra	Dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L ⁻¹)	Tempo de Contato (min)	CT (NMP 100 mL ⁻¹)
Esgoto Bruto	-	-	2,00 E+07
1	32	30	< 1,00 E+02
2	32	45	2,00 E+02
3	32	60	5,20 E+02

5.1.16.9 Descloração

Os testes de descloração foram realizados utilizando-se o tiosulfato de sódio penta-hidratado. Duas soluções de concentrações 0,015 mol L⁻¹ e 0,030 mol L⁻¹ foram preparadas conforme descrita no Standard Methods (2001) e utilizada para os testes de descloração. Ao final dos testes a concentração de cloro residual total diminuiu. A tabela 5.38 apresenta os valores de cloro residual total após a aplicação do desclorante.

Tabela 5.38 – Valores de cloro residual total após a aplicação do desclorante.

Amostra	Cloro residual total antes do desclorante (mg L ⁻¹)	Concentração da solução de tiosulfato de sódio (mol L ⁻¹)	Cloro residual total após o desclorante (mg L ⁻¹)
1	0,08	0,015	0
2	0,15	0,015	0,07
3	0,06	0,015	0,03
1	0,08	0,030	0
2	0,15	0,030	0
3	0,06	0,030	0

A partir da tabela 5.38 verificou-se que a concentração de 0,015 mol L⁻¹ de tiosulfato de sódio não foi suficiente para que todas as amostras atingissem os padrões de lançamento em corpos d'água de classe 1 e 2 de acordo com a CONAMA 357/05 que é de 0,01 mg L⁻¹ de cloro residual total, por essa razão uma solução com concentração de 0,030 mol L⁻¹ foi utilizada, daí então, a concentração de cloro residual total foi obedecida.

Ao final dos testes coletando o efluente no dia das análises verificou-se que as variáveis: pH, temperatura, condutividade e turbidez, em média, possuem os mesmos valores. Porém, para as variáveis: OD e DQO bruta os resultados foram um pouco diferentes, isso pode ser justificado pelo fato das intensas chuvas que ocorreram no período entre dezembro de 2006 e janeiro de 2007. Com relação a variável *E. coli* os resultados foram satisfatórios e assim pode-se confirmar que a dosagem e

hipoclorito de cálcio utilizada é ideal para atender a norma vigente. Análises de descloração foram realizadas e concentração de tiosulfato de sódio penta-hidratado de $0,030 \text{ mol L}^{-1}$ conseguiu atender a concentração máxima de cloro residual total recomendada pela CONAMA 357/05.

5.2 Valas de filtração

As valas de filtração foram operadas por SOUZA JÚNIOR (2006) por um período de 14 meses. A aplicação do efluente do sistema fossa filtro nas valas de filtração foi feita pelo período de 10 meses, correspondentes ao emprego de quatro taxas hidráulicas estudadas são: $40 \text{ L m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, $60 \text{ L m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, $80 \text{ L m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e $100 \text{ L m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. Foram analisados efluentes de 17 semanas de trabalho. Com citado anteriormente, utilizou-se o programa estatístico SAS (versão 9.1) para interpretação dos dados. Os dados do experimento foram submetidos a análise de variância e as médias comparadas através do teste estatístico de Tukey ao nível de 5% de intervalo de confiança. A tabela 5.39 apresenta dados de significância estatística para o efluente das valas de filtração.

Os dados obtidos da tabela 5.39 significam que para cada variável analisada há um valor para as valas de filtração, para o tempo de contato (min), para dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L^{-1}) e por fim para a taxa hidráulica ($\text{L m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) e caso os valores sejam menores que 0,05 significa que os parâmetros analisados são dependentes em algum dos parâmetros. Se este valor for superior a 0,05 significa que a variável é independente do tratamento.

Tabela 5.39 – Dados de significância estatística para o efluente das valas de filtração.

Variável analisada	Significância Estatística			
	Se $p < 0,05$ então pelo menos duas médias são diferentes			
	Vala*	Tempo contato (min) **	Dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L^{-1})***	Taxa hidráulica ($\text{L m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$)****
Cloro residual Livre	0.0321	0.0001	<.0001	0.1407
Cloro residual Total	0.1953	<.0001	<.0001	0.0013
Cloro residual Combinado	0.5541	0.0009	0.0002	0.0005
pH	0.0126	0.2201	0.0006	<.0001
Condutividade	0.0003	0.9196	0.6393	<.0001
Turbidez	<.0001	0.9988	0.9793	<.0001
Alcalinidade Parcial	<.0001	0.9451	0.4006	<.0001
Alcalinidade Total	<.0001	0.9623	0.1241	<.0001
Cor aparente	<.0001	0.0286	0.0108	<.0001
Cor verdadeira	0.0048	0.2587	0.1587	<.0001
Nitrato	0.0001	0.2497	0.1513	<.0001
Nitrito	<.0001	0.9106	0.8261	<.0001
N amoniacal	0.1928	0.0006	<.0001	<.0001
N orgânico	0.0037	0.9704	0.0029	0.0037
DQO bruta	0.0003	0.9151	0.1880	<.0001
OD	0.0015	0.2669	0.5147	<.0001
Sólidos Totais (ST)	0.0120	0.3366	0.0828	0.0061
Sólidos totais fixos (STF)	0.5554	0.2661	0.1194	<.0001
Sólidos totais voláteis (STV)	0.0113	0.2970	0.1108	0.0603
Sólidos suspensos (SS)	0.0120	0.3366	0.0828	0.0061
Sólidos suspensos fixos (SSF)	0.4193	0.0006	0.7596	<.0001
Sólidos suspensos voláteis (SSV)	0.7928	0.0212	0.5673	<.0001
E. coli	0.6002	0.0015	0.9959	0.3560
Coliformes totais	0.7713	<.0001	0.6181	0.0202
Fósforo total	0.0789	0.6112	0.0754	0.0899

* Valas de filtração de 0,25; 0,50 e 0,75 m de altura de camada de areia;

** Tempo de contato: 30, 45 e 60 minutos;

*** Dosagem de hipoclorito de cálcio: 1,5 e 3,25 mg L^{-1} ;

**** Taxa hidráulica: 40, 60, 80 e 100 $\text{L m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$.

5.2.1 Cloro residual

Foram analisadas as variáveis: cloro residual livre e cloro residual total. Pela diferença entre as duas variáveis obteve-se o resultado de cloro residual combinado, a partir da equação 3.11. Como se trabalhou com três valas de filtração diferentes, denominadas 0,25; 0,50 e 0,75 m de camada de areia e variou-se a taxa hidráulica em 40, 60, 80 e 100 L m⁻² dia⁻¹ uma série de resultados foram obtidos. Foram apresentados 4 figuras para cada vala de filtração variando-se a taxa hidráulica.

5.2.1.1 Cloro residual livre

Os resultados obtidos para cloro residual livre para as diferentes valas são apresentados nas figuras 5.30, 5.31 e 5.32 que apresentam a concentração de cloro residual livre para a vala 0,25, 0,50 e 0,75, respectivamente, com relação ao tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio em miligramas por litro.

Observa-se que para a vala de filtração 0,25 m a quantidade de cloro residual livre não ultrapassou 0,20 mg L⁻¹. Em geral, a quantidade de cloro residual livre aumentou com o aumento da taxa hidráulica. Para a vala de filtração 0,50 m a quantidade de cloro residual livre não ultrapassa 0,25 mg L⁻¹ e em geral, com o aumento da taxa hidráulica a concentração de hipoclorito de cálcio aumenta. Para a vala de filtração de 0,75 m a quantidade máxima de cloro residual livre é de 0,30 mg L⁻¹, porém neste último caso a quantidade de cloro residual livre diminuiu com o aumento da taxa hidráulica. Portanto, o que se pode observar é que quanto maior a dosagem de hipoclorito de cálcio aplicada maior é a concentração de cloro residual livre em miligramas por litro.

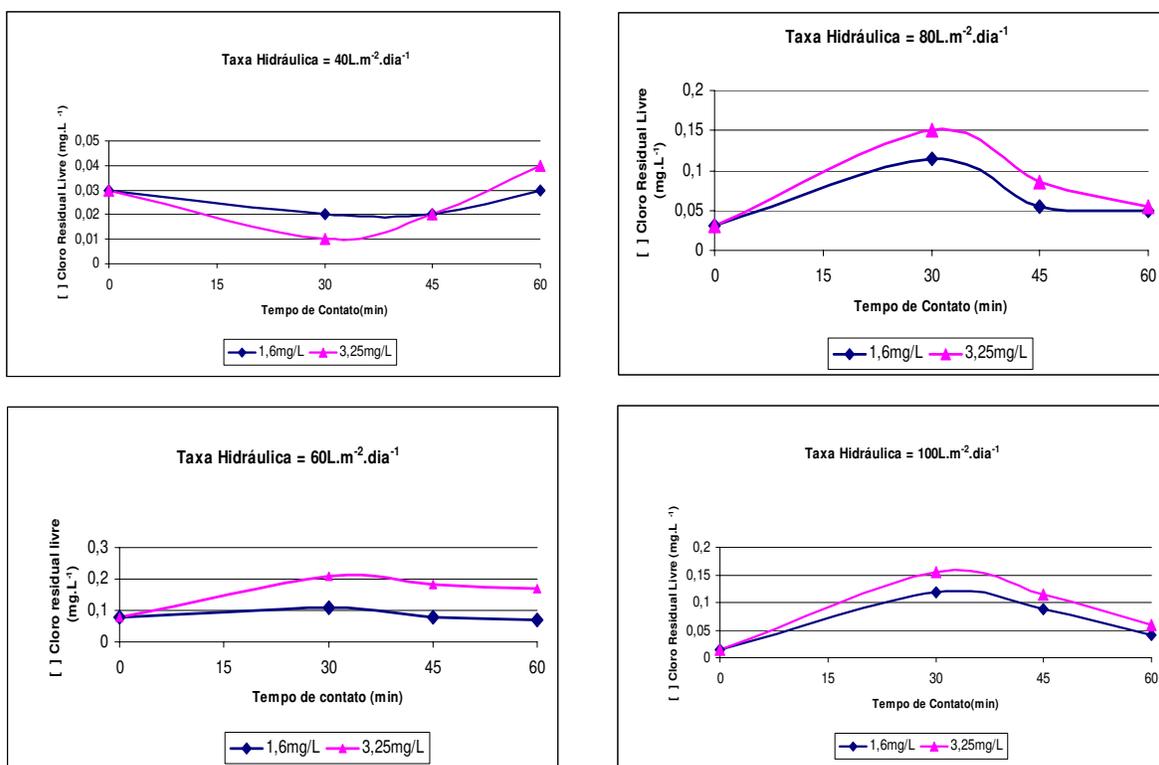


Figura 5.30 - Concentração de cloro residual livre para a vala 0,25m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L⁻¹).

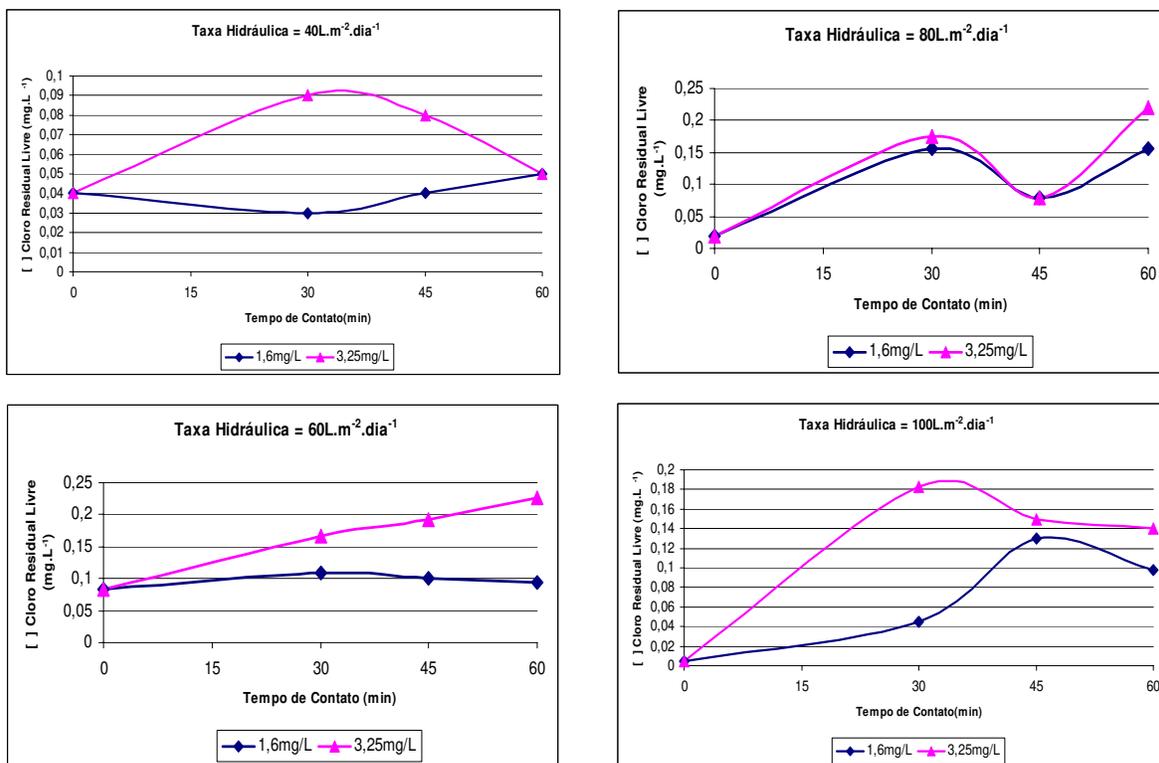


Figura 5.31 – Concentração de cloro residual livre para a vala 0,50m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L⁻¹).

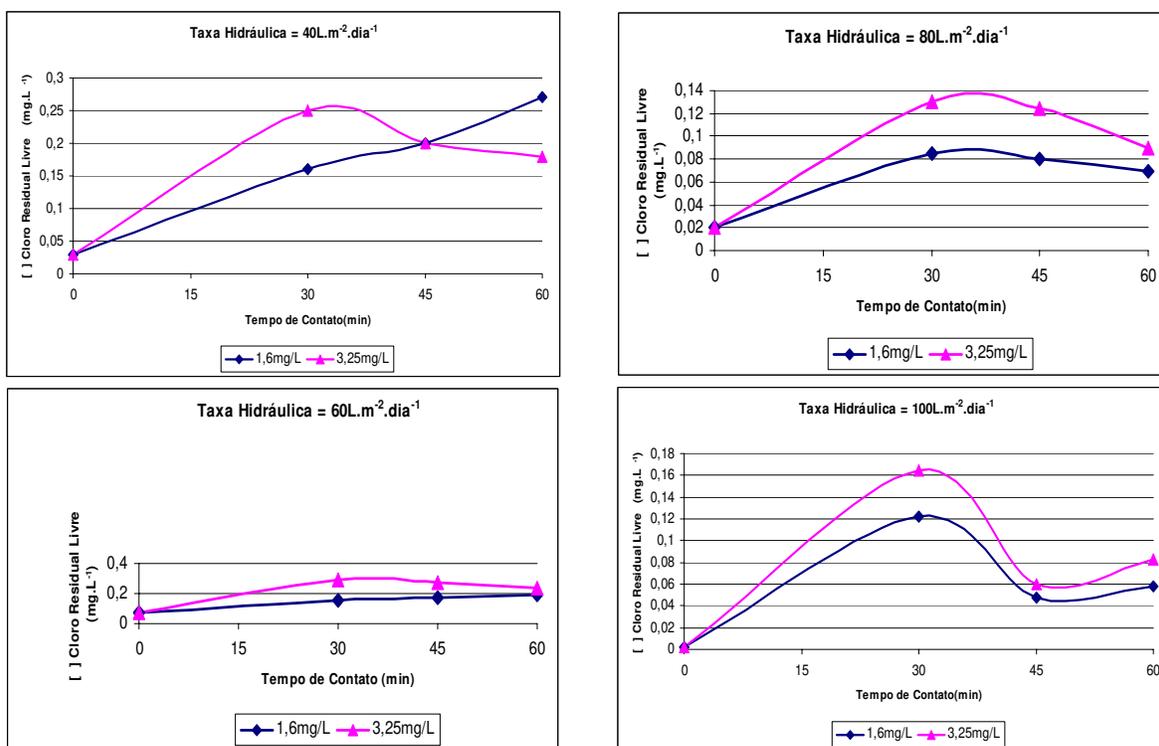


Figura 5.32 – Concentração de cloro residual livre para a vala 0,75 m versus Tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L⁻¹).

A partir da tabela 5.39 observa-se que para a variável cloro residual livre a taxa hidráulica possui um valor superior ao p-valor, portanto, que se verifica é que nesse caso o tratamento, taxa hidráulica, é independente, ou melhor, independentemente da taxa hidráulica aplicada os resultados serão, em média, para a estatística, iguais. Análises estatísticas serão mostradas na tabela 5.40 que apresenta a relação entre a dosagem de hipoclorito de cálcio e o tempo de contato estudado.

5.2.1.2 Cloro residual combinado

Outra variável importante é a cloro residual combinado, nesse caso e como já dito anteriormente, a quantidade de cloro residual combinado é um importante parâmetro para controlar a quantidade de trialometanos formado. Pois se sabe que quanto maior a quantidade de cloro residual combinado formado menor a quantidade de trialometanos. As figuras 5.33, 5.34 e 5.35 apresentam a concentração de cloro residual combinado para a vala 0,25, 0,50 e 0,75, respectivamente, com relação ao tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio em miligramas por litro.

Verifica-se que para a vala de 0,25 m a quantidade máxima de cloro residual combinado formado foi de 0,20 mg L⁻¹ que aconteceu para a taxa hidráulica de 100 L m⁻² dia⁻¹. Para a vala de 0,50 m a quantidade máxima de cloro residual combinado formado foi de 0,25 mg L⁻¹ e para a vala de 0,75 m a quantidade de cloro residual combinado foi de 0,23 mg L⁻¹. Em geral, quanto maior a dosagem de hipoclorito de cálcio aplicado maior a quantidade de cloro residual combinado formado.

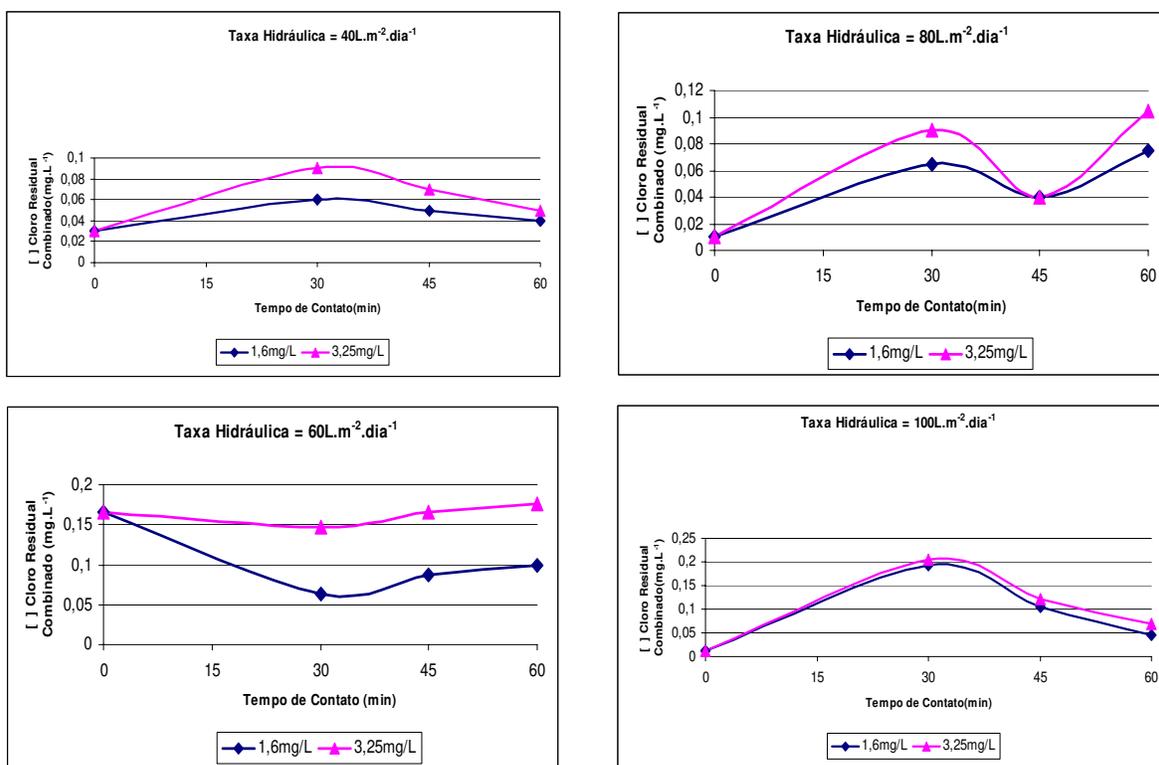


Figura 5.33 – Concentração de cloro residual combinado para a vala 0,25 m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L⁻¹).

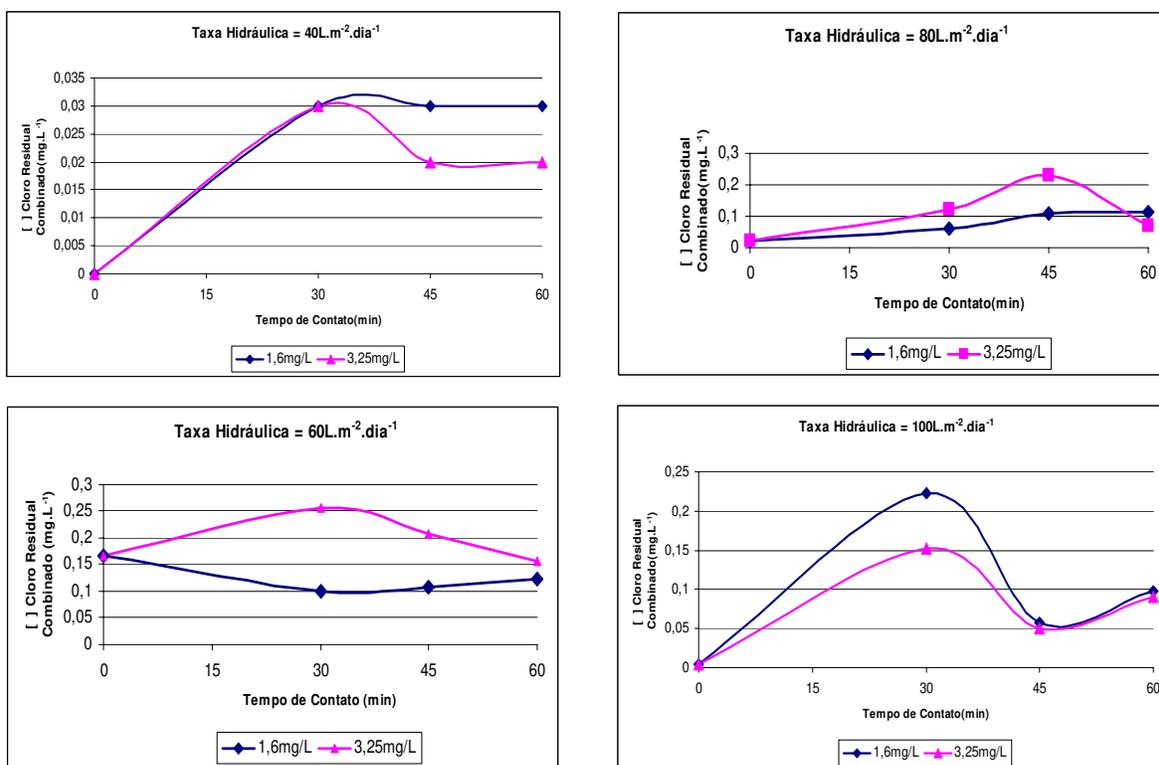


Figura 5.34 – Concentração de cloro residual combinado para a vala 0,50 m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L⁻¹).

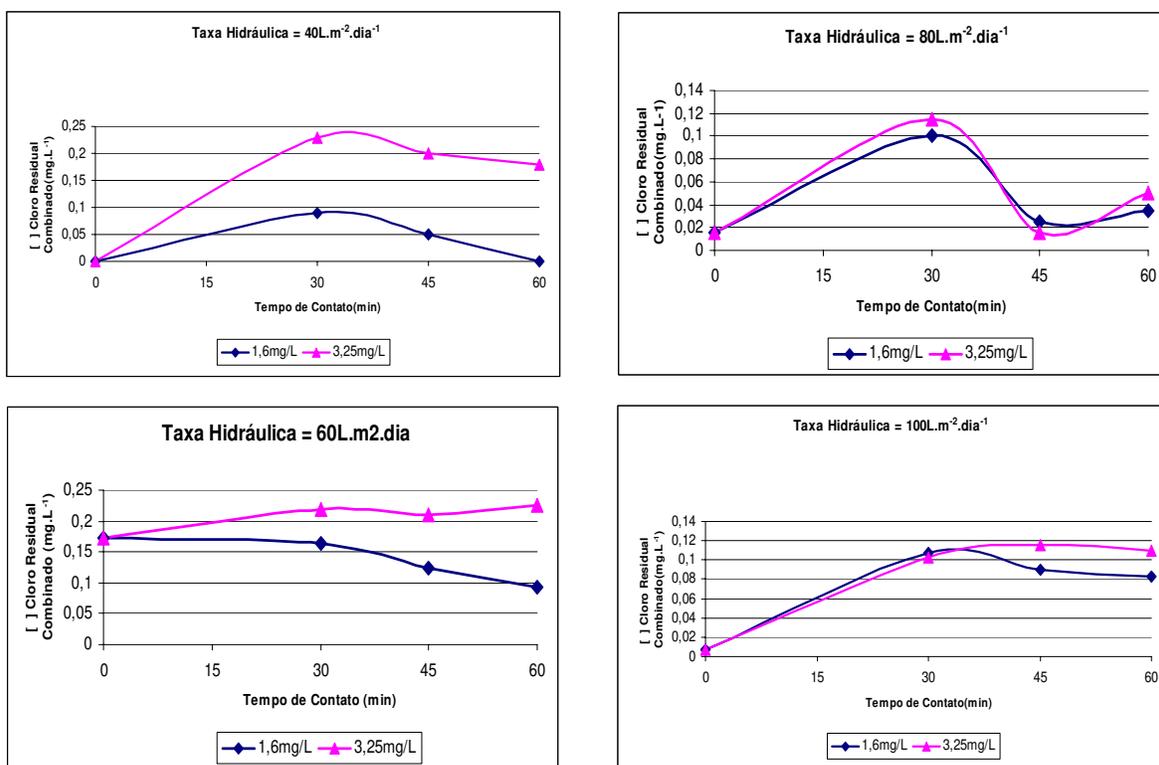


Figura 5.35 – Concentração de cloro residual combinado para a vala 0,75 m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L^{-1}).

Verifica-se por meio da tabela 5.39 que para a variável cloro residual combinado as valas de filtração em que foi coletado o efluente não é um tratamento que possui significância estatística nesse caso.

5.2.1.3 Cloro residual total

Como dito anteriormente, a quantidade de cloro residual total é a soma da quantidade de cloro residual livre e combinado. A análise de cloro residual total é a mais importante, levando-se em consideração que esta é a única que está citada na resolução CONAMA 357/05 que diz que para padrões de qualidade das águas

doces de classe 1 e 2 é $0,01 \text{ mg L}^{-1} \text{ Cl}$.

A quantidade máxima de cloro residual livre formado no efluente da vala de 0,25 m foi de $0,35 \text{ mg L}^{-1}$, para a vala de 0,50 m a quantidade máxima formada de cloro residual livre foi de $0,42 \text{ mg L}^{-1}$ e para a vala de 0,75 m a quantidade máxima formada foi de $0,50 \text{ mg L}^{-1}$. Verifica-se que para a dosagem de $3,25 \text{ mg L}^{-1}$ de hipoclorito de cálcio valores maiores foram alcançados e vice-versa e, em geral, quanto maior a taxa hidráulica maior a quantidade de cloro residual total. As figuras 5.36, 5.37 e 5.38 apresentam a concentração de cloro residual total para a vala 0,25, 0,50 e 0,75, respectivamente, com relação ao tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio em miligramas por litro.

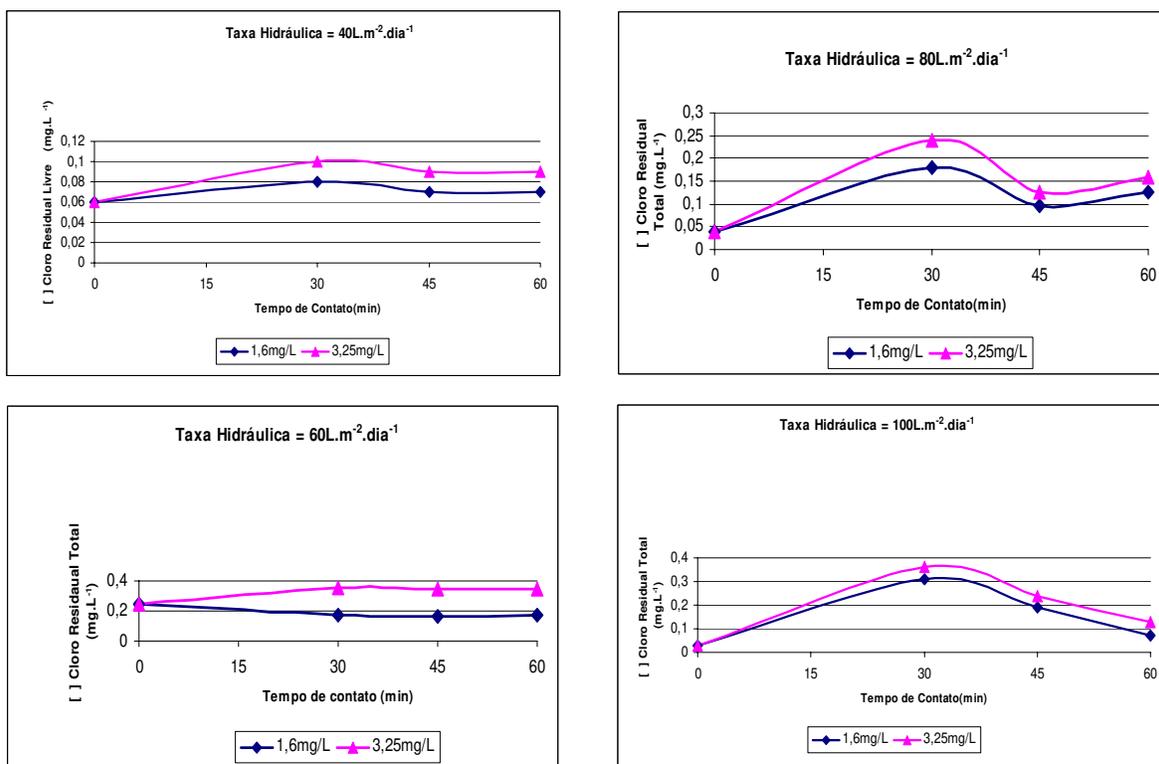


Figura 5.36 – Concentração de cloro residual total para a vala 0,25 m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L^{-1}).

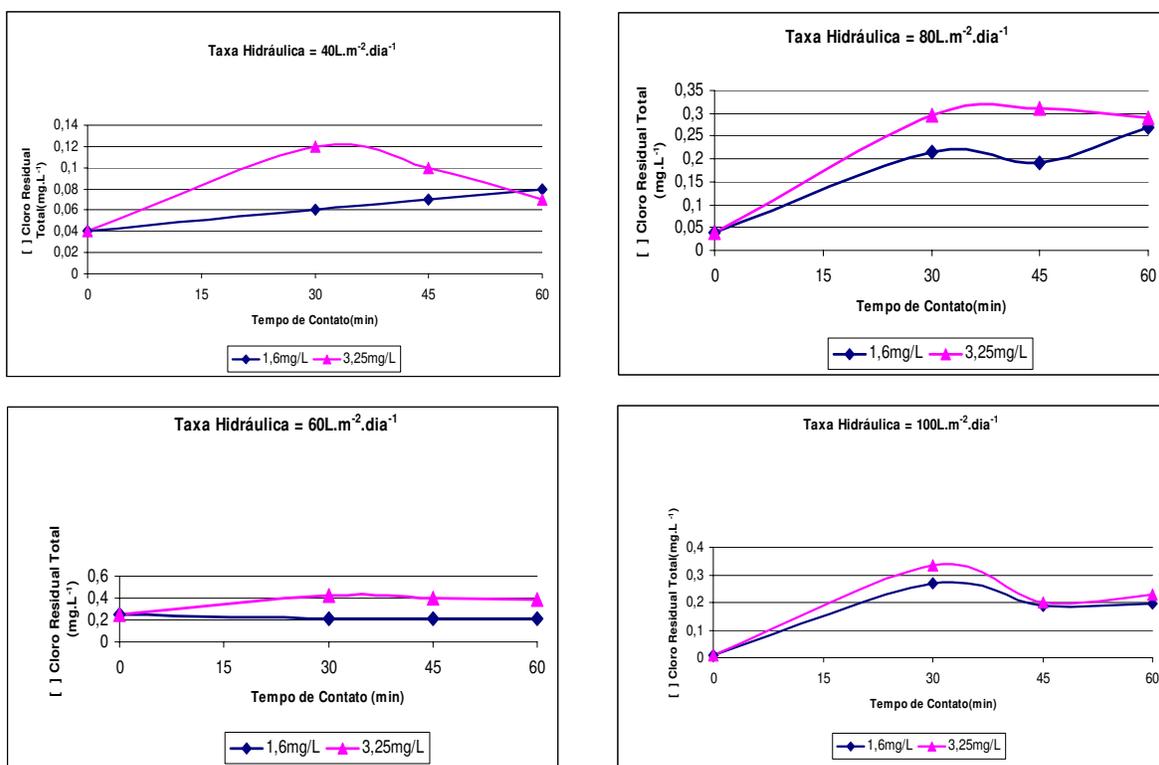


Figura 5.37 – Concentração de cloro residual total para a vala 0,50 m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L⁻¹).

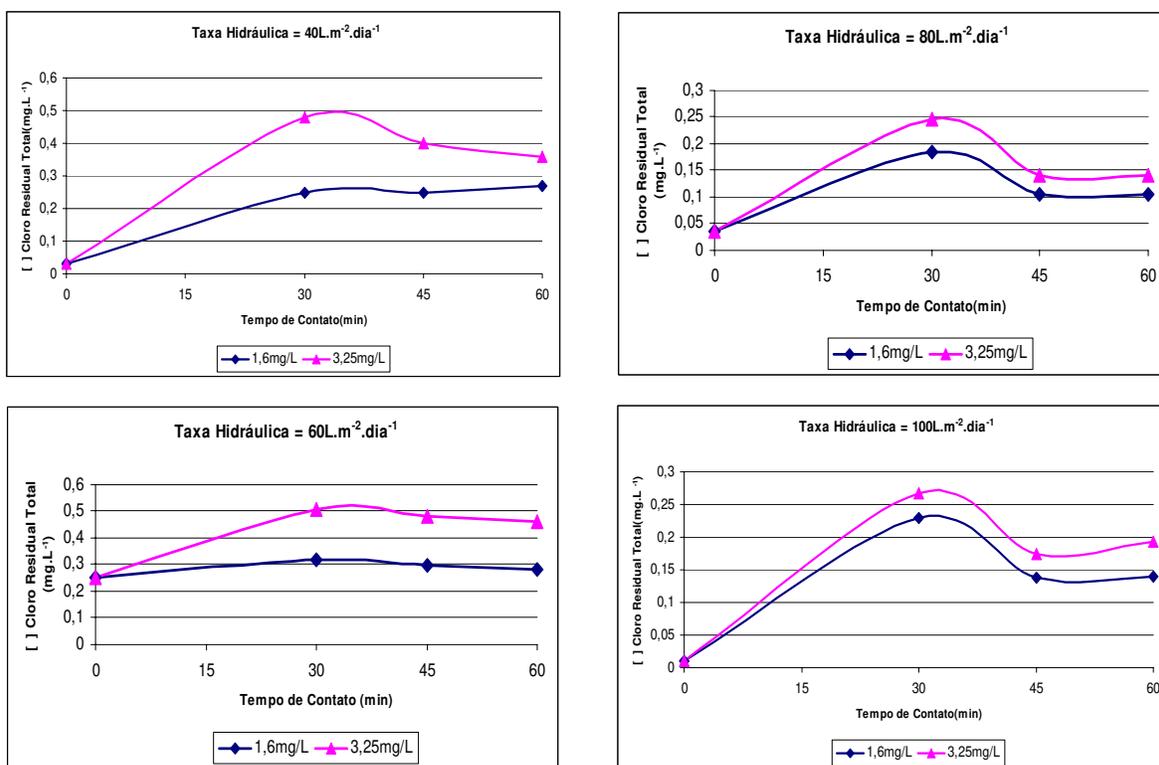


Figura 5.38 – Concentração de cloro residual total para a vala 0,75 m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L⁻¹).

Observando a tabela 5.39 verifica-se que assim como para a variável cloro residual combinado, cloro residual total também não possui significância estatística para o tratamento valas de filtração, ou seja, independentemente da vala que foi coletado o efluente para a desinfecção os resultados seriam iguais.

Análises estatísticas foram realizadas para se compreender melhor a relação entre a variável: cloro residual livre, combinado e total e a dosagem de hipoclorito de cálcio e tempo de contato aplicadas (veja tabela 5.40).

Tabela 5.40 – Relação entre as variáveis: cloro residual livre, combinado e total e a dosagem de hipoclorito de cálcio aplicada e tempo de contato estudado.

Tratamento estudado	Agrupamento Tukey ⁽¹⁾			
		Cloro residual Livre	Cloro residual Total	Cloro residual Combinado
Tempo de Contato (min)	0			
	30	A	A	A
	45	A	A	A
	60	A	B	A
Dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L ⁻¹)	0	A	A	A
	1.6	A	A	A
	3.25	A	A	A

(1) Significa que os resultados foram agrupados através das letras em maiúsculo;

Verifica-se a partir das figuras 5.30, 5.31, 5.32, 5.33, 5.34, 5.35, 5.36, 5.37 e 5.38 e da tabela 5.40 que as variáveis: cloro residual livre e combinado a dosagem de hipoclorito de cálcio e o tempo de contato são independentes dos tratamentos, ou seja, por possuírem a mesma denominação, A, significa que qualquer que seja o tempo de contato em minutos estudado os resultados possuem significância estatística, isso equivale também para a dosagem de hipoclorito de cálcio em miligramas por litro. Para a variável cloro residual total, a dosagem de hipoclorito de cálcio, em média, estatisticamente são iguais, porém, os tempos de contato não são possuem significância estatística.

5.2.2 pH

Os valores de pH para os efluentes coletados das valas de filtração, que para esta pesquisa são os afluentes variaram de 6,52 a 7,57. Observou-se que com o aumento da taxa hidráulica houve um aumento no pH que sempre oscilou entre esses valores. Uma explicação para esse fenômeno foi citada por Tonetti (2004) e Souza Júnior (2006), que trabalharam com filtro de areia e vala de filtração, respectivamente, é que as valas de filtração sofreram a formação de um tampão químico no leito de areia. Para a vala 0,25 m os valores de pH oscilaram entre 6,52 até 7,21 alcançados entre as taxas hidráulicas de 40 e 100 L m⁻² dia⁻¹. Para a vala 0,50 m os valores de pH variaram entre 6,97 e 7,23 para as taxas de 40 e 100 L m⁻² dia⁻¹, respectivamente, e para a vala 0,75 m os valores de pH variaram entre 6,81 e 7,24 para as taxas de 40 e 100 L m⁻² dia⁻¹. O que pode-se perceber é que quanto maior a altura da camada de areia maior é o pH. Esses afluentes foram desinfetados com dosagens de 1,6 e 3,25 mg L⁻¹ e os valores de pH alcançados estão nas figuras 5.39, 5.40 e 5.41 que mostra a variação do pH para as valas 0,25, 0,50 e 0,75 m, respectivamente, com relação ao tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio em miligramas por litro.

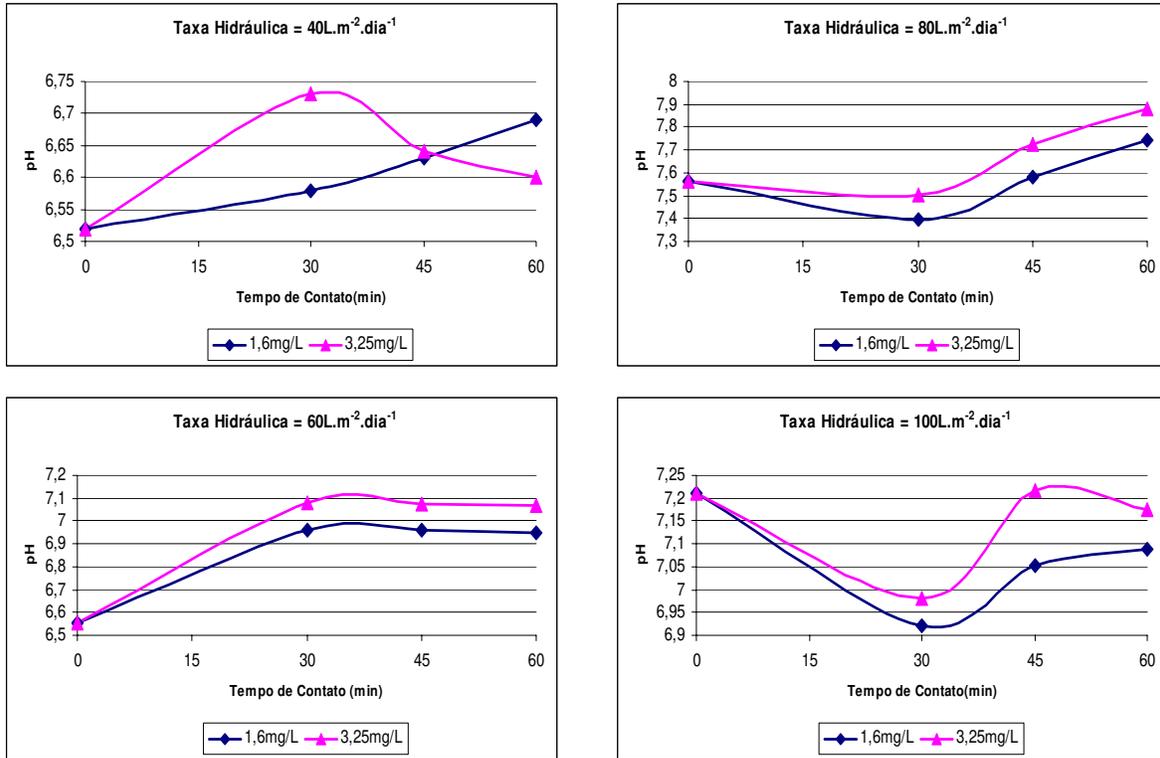


Figura 5.39 – Variação do pH para a vala 0,25 m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L⁻¹)

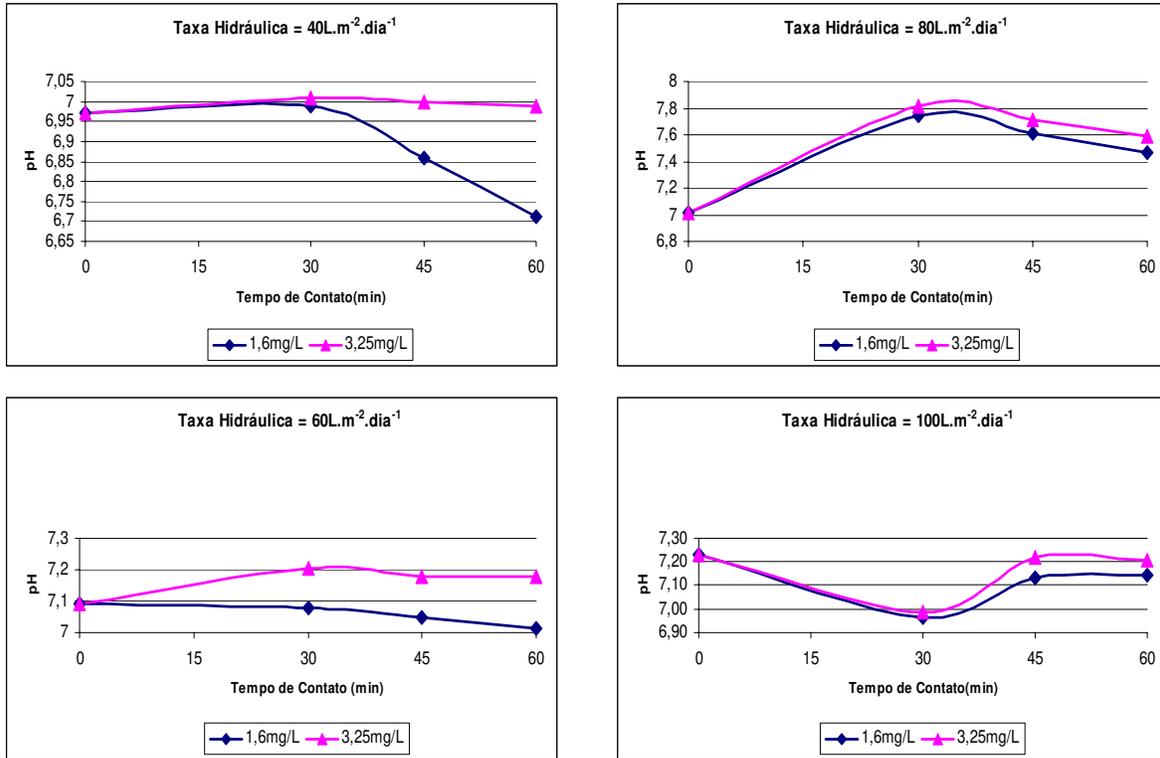


Figura 5.40 – Variação do pH para a vala 0,50 m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L⁻¹)

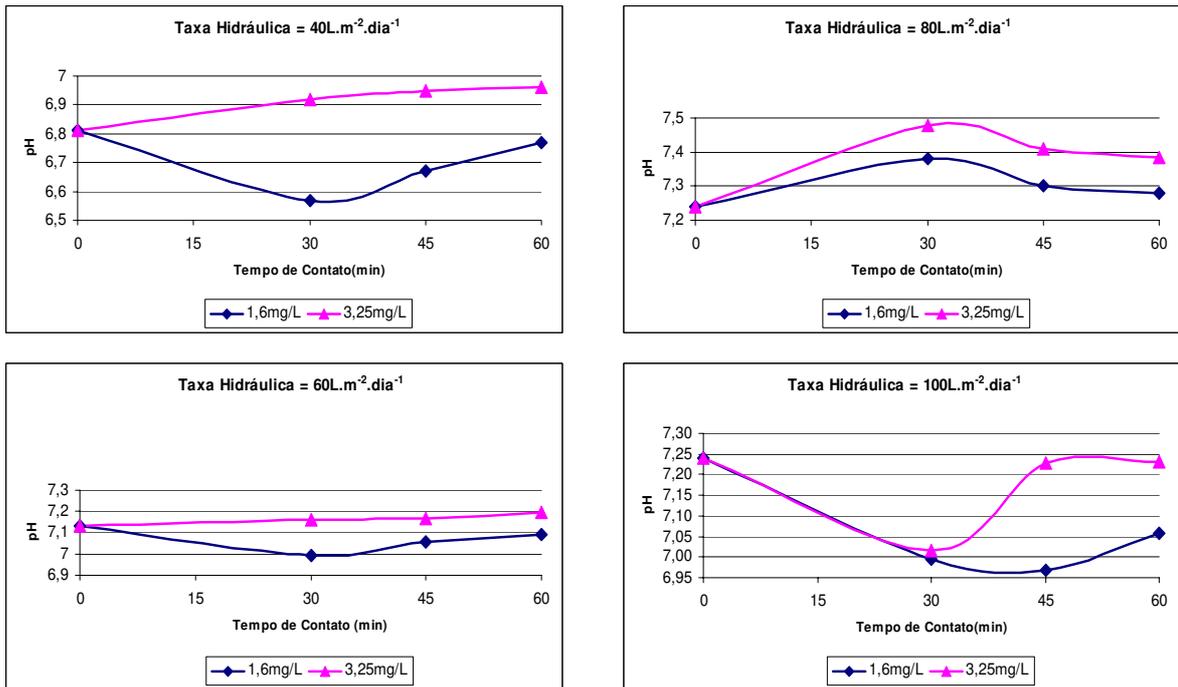


Figura 5.41 – Variação do pH para a vala 0,75 m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L⁻¹)

De acordo com a resolução CONAMA 357/2005 valores de pH entre 6,0 e 9,0 são considerados próprios, vê-se a partir das figuras 5.39, 5.40 e 5.41 que todos os resultados obtidos obedecem à norma vigente. Também a partir das figuras citadas observa-se que os valores de pH não são influenciáveis pela quantidade de hipoclorito de cálcio adicionada, o valor máximo de pH alcançado pelo efluente desinfetado foi de 7,88, ou seja, aumentou em no máximo uma unidade. Análises estatísticas foram realizadas para se ver a relação entre a variável: pH e a dosagem de hipoclorito de cálcio e o tempo de contato estudado, veja tabela 5.41.

Tabela 5.41 – Relação entre o pH e a dosagem de hipoclorito de cálcio aplicada e tempo de contato estudado.

		Agrupamento Tukey ⁽¹⁾
Tratamento estudado		pH
Tempo de Contato (min)	0	A
	30	A
	45	A
	60	A
Dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L ⁻¹)	0	A
	1.6	A
	3.25	B

(1) Significa que os resultados foram agrupados através das letras em maiúsculo;

O que percebe-se através da tabela 5.41 que o tempo de contato em minutos, por apresentar apenas uma denominação (A) significa que em média todos seus resultados são iguais, porém para a dosagem de hipoclorito de cálcio em miligramas por litro os resultados em média não podem ser considerados iguais, ou seja, a dosagem é um tratamento que variam com o pH. Ao analisar a tabela 5.39 verifica-se que para os parâmetros: valas de filtração, dosagem de hipoclorito de cálcio e taxa hidráulica, há valores inferiores a 0,05, isso significa que eles são dependentes do pH, qualquer que seja a variação dos resultados, e que o tempo de contato não é um fator dependente.

Para as valas de filtração o pH é influenciável pela transformação do nitrogênio amoniacal em nitrato. Esta variável será comentada e discutida posteriormente.

5.2.3 Temperatura

Os valores de temperatura observados no afluente das valas de filtração e nos efluentes desinfetados não ultrapassaram 25°C. Os valores obtidos de temperatura foram entre 21-25 °C. Como citado anteriormente, essa variável foi principalmente importante, por essa razão a desinfecção acontecia sempre entre as 7:00 e 8:00 horas da manhã, ou seja, a temperatura não era elevada independentemente da estação do ano, fazendo com que este atenda a resolução COMANA 357/05 que diz que para um possível lançamento ao um corpo receptor, o valor no lançamento é de 40° C.

5.2.4 Condutividade

Os valores de condutividade alcançados para o efluente de saída da vala de filtração (afluente para esta pesquisa) variaram de 352 a 693 $\mu\text{S cm}^{-1}$. Para a vala 0,25 a condutividade variou entre 353 a 693 $\mu\text{S cm}^{-1}$, para a vala 0,50 a condutividade variou entre 367 a 647 $\mu\text{S cm}^{-1}$ e para a vala 0,75 a condutividade variou entre 352 e 670 $\mu\text{S cm}^{-1}$. Em geral, o que se observou é que a vala 0,50 foi a que apresentou o menor valor de condutividade. As figuras 5.42, 5.43 e 5.44 mostram a condutividade para as valas 0,25, 0,50 e 0,75 m, respectivamente, com relação ao tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio em miligramas por litro.

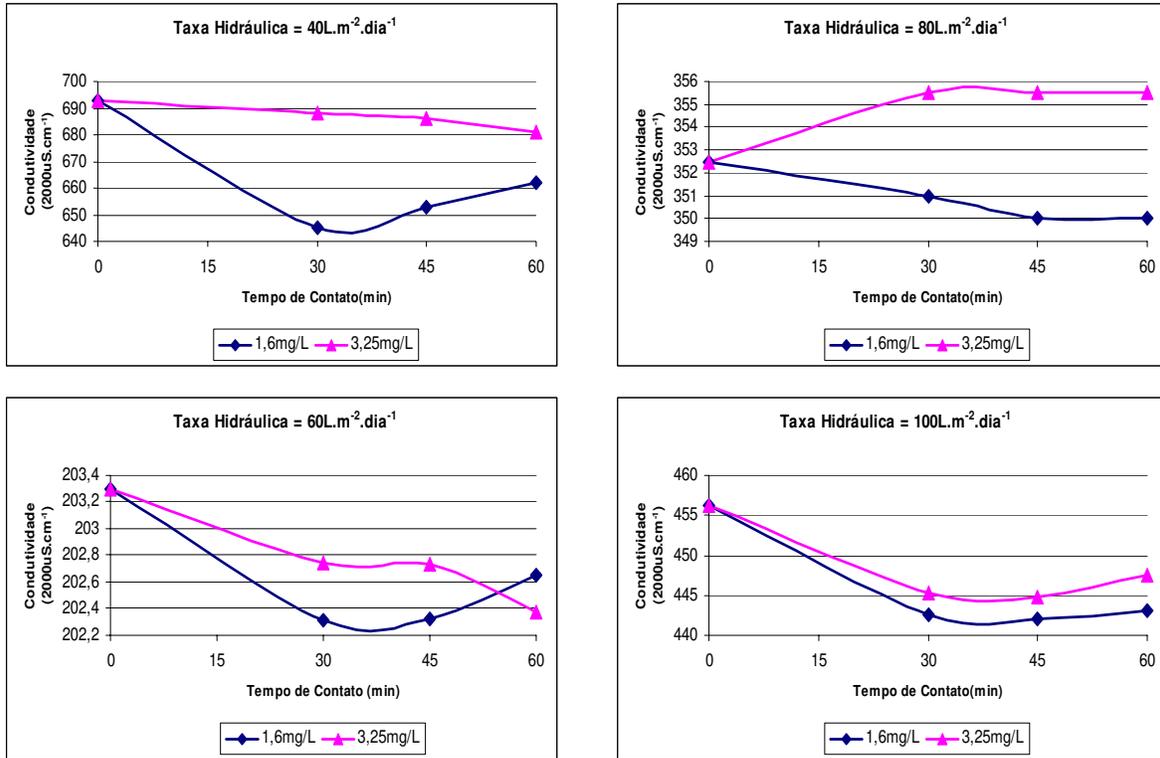


Figura 5.42 – Condutividade para a vala 0,25 m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L^{-1})

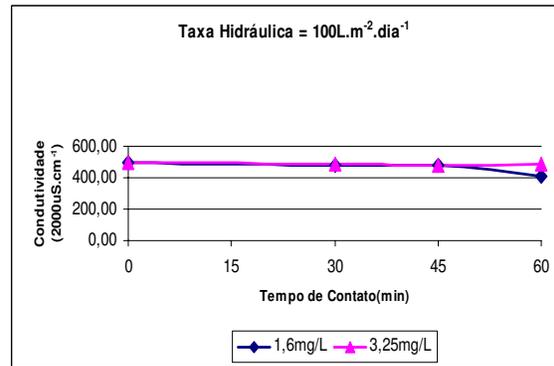
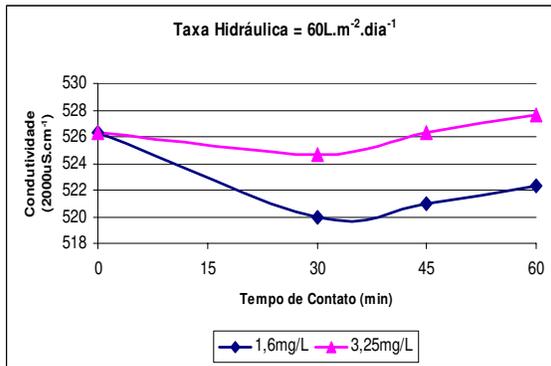
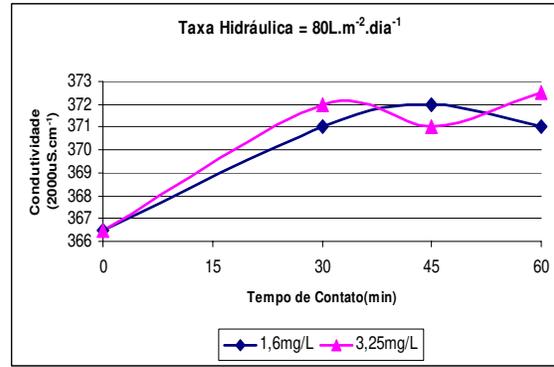
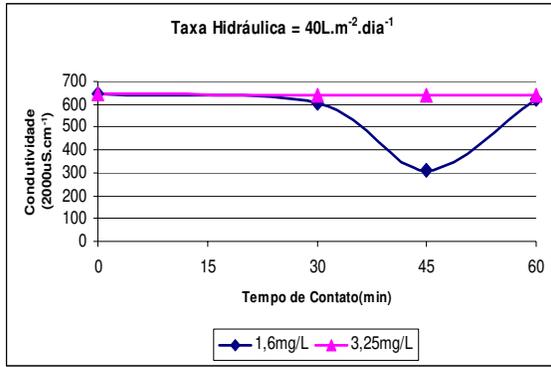


Figura 5.43 – Condutividade para a vala 0,50 m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L⁻¹)

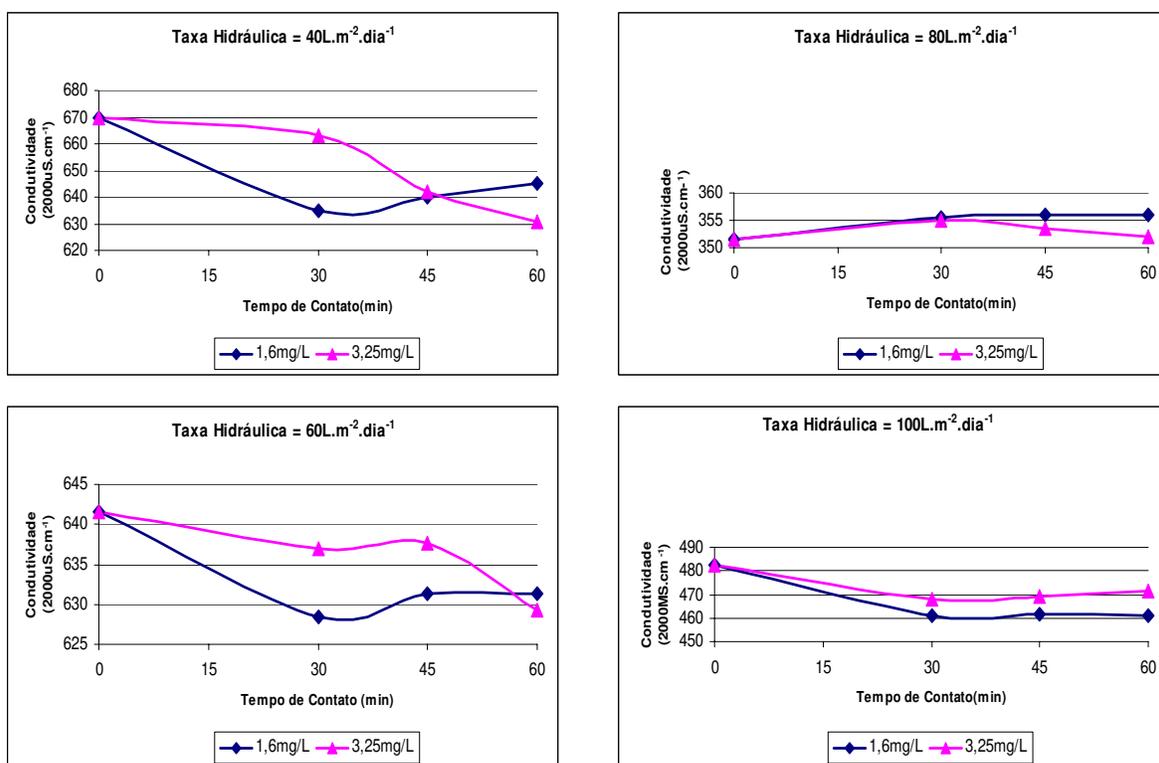


Figura 5.44 – Condutividade para a vala 0,75 m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L⁻¹)

Verifica-se através das figuras 5.42, 5.43 e 5.44 que a condutividade diminuiu com o aumento da taxa hidráulica, porém, a taxa hidráulica que teve menores valores de condutividade foi a de 80 L m⁻² dia⁻¹. Análises estatísticas foram realizadas levando-se em consideração a média dos resultados obtidos ao longo do trabalho e a tabela 5.42 mostra a relação entre a condutividade e a dosagem de hipoclorito de cálcio e o tempo de contato estudado.

Tabela 5.42 – Relação entre a condutividade e a dosagem de hipoclorito de cálcio aplicada e tempo de contato estudado.

Tratamento estudado	Agrupamento Tukey ⁽¹⁾	
		Condutividade ($\mu\text{S cm}^{-1}$)
Tempo de Contato (min)	0	A
	30	A
	45	A
	60	A
Dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L^{-1})	0	A
	1.6	A
	3.25	A

(1) Significa que os resultados foram agrupados através das letras em maiúsculo;

O que pode-se observar é que nem o tempo de contato e nem a dosagem de hipoclorito de cálcio são fatores que influenciam na condutividade, em média seus valores são iguais, para a estatística. De acordo com a tabela 5.39 o que pode-se concluir é que pelos valores apresentados, tempo de contato em minutos e dosagem de hipoclorito de cálcio em miligramas por litros não são tratamentos influenciáveis na condutividade, em contrapartida, a vala de filtração e a taxa hidráulica são tratamentos influenciáveis, isso foi observado pelas figuras. De acordo com Souza Júnior (2006) o desempenho das valas de filtração, estão de acordo com o esperado, visto que a maior mineralização da matéria orgânica acarreta no aumento da concentração de sais e de compostos mais degradados, que possuem condutividade superior aos constituintes orgânicos que adentram as valas.

5.2.5 Turbidez

Verifica-se que a turbidez medida entre os efluentes das valas de filtração sem desinfecção, ou seja, o efluente bruto (afluente da pesquisa) alcançou valores de 0,69 a 5,08 UNT. Verificou-se que com o aumento da taxa hidráulica houve um aumento nos valores de turbidez. A taxa hidráulica de $40 \text{ L m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ foi a que apresentou menores valores de turbidez, como a taxa hidráulica de $60 \text{ L m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ foi a última a ser aplicada, como descrita anteriormente, foi a que apresentou maiores valores de turbidez. Em geral, comparando as valas de filtração o que possui o melhor desempenho com relação a remoção de turbidez é a vala 0,75. As figuras 5.45, 5.46 e 5.47 mostram a turbidez para as valas 0,25, 0,50 e 0,75 m, respectivamente, com relação ao tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio em miligramas por litro.

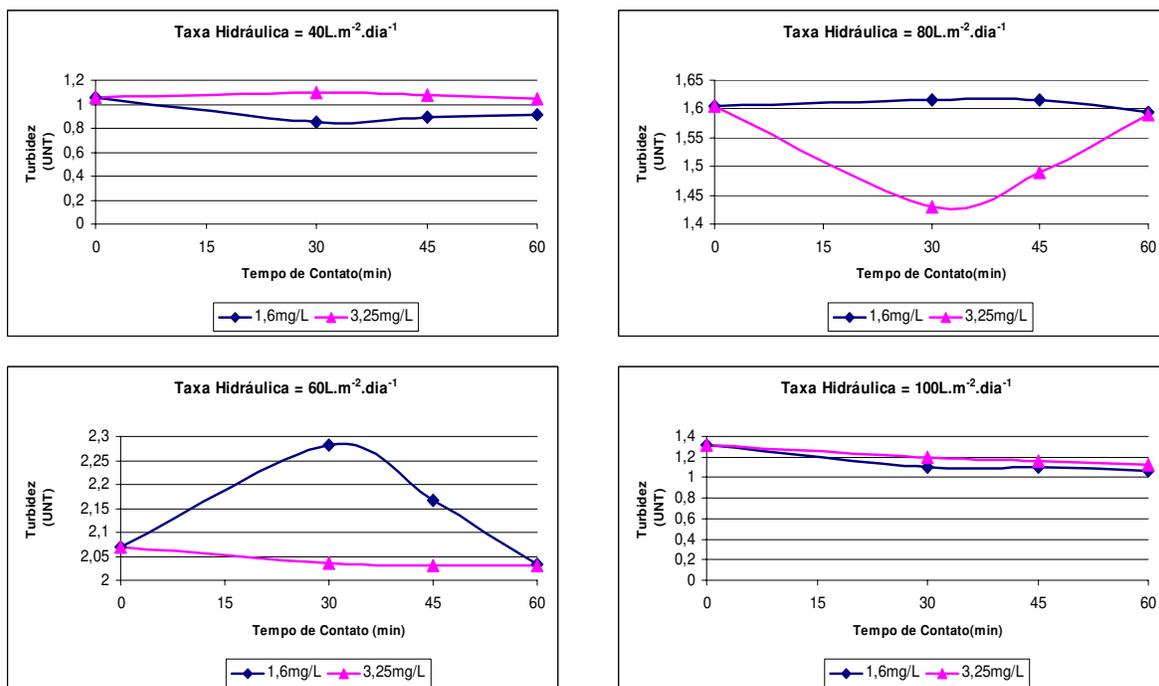


Figura 5.45 – Turbidez para a vala 0,25 m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L^{-1})

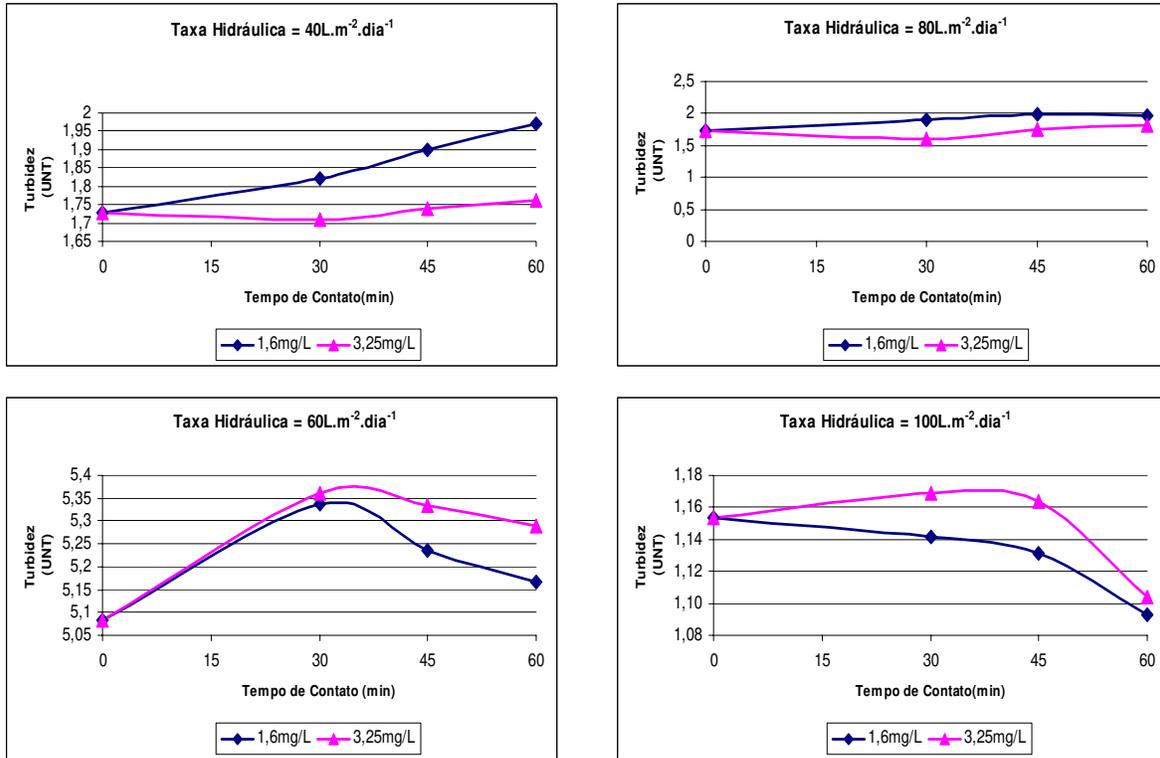


Figura 5.46 – Turbidez para a vala 0,50 m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L⁻¹)

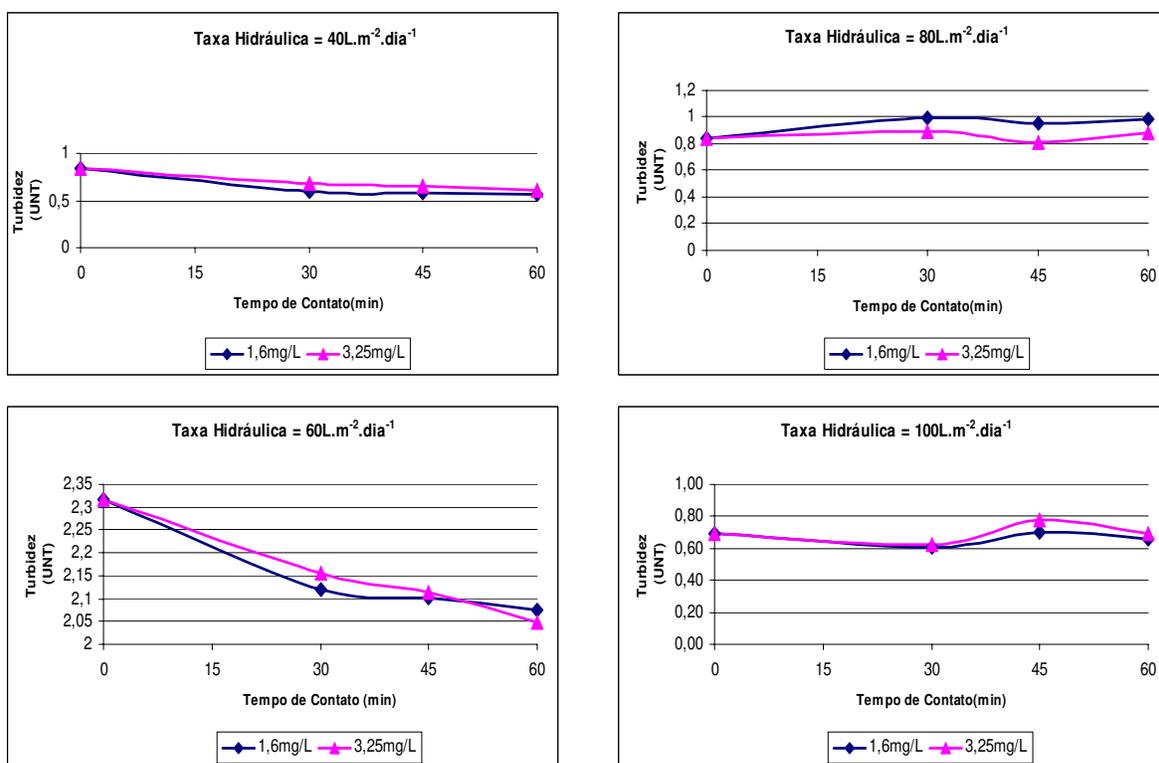


Figura 5.47 – Turbidez para a vala 0,75 m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L^{-1})

A turbidez é um parâmetro que de acordo com a CONAMA 357/05 para padrões de qualidade das águas doces de classe 1 e 2 e padrões de lançamento em corpos receptores, a turbidez máxima permitida é de 40 UNT para rios de classe 1 e para corpos receptores de classe 2 a turbidez não deve ultrapassar 100 UNT, o que se verifica é que em qualquer dos casos apresentados respeita a legislação. Análises estatísticas foram realizadas para se observar a relação entre a turbidez e a dosagem de hipoclorito de cálcio aplicada e tempo de contato estudado, veja tabela 5.43.

Tabela 5.43 – Relação entre a turbidez e a dosagem de hipoclorito de cálcio aplicada e tempo de contato estudado.

		Agrupamento Tukey ⁽¹⁾
Tratamento estudado		Turbidez (UNT)
Tempo de Contato (min)	0	A
	30	A
	45	A
	60	A
Dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L ⁻¹)	0	A
	1.6	A
	3.25	A

(1) Significa que os resultados foram agrupados através das letras em maiúsculo;

O que se verifica pela tabela 5.43 é que tanto o tempo de contato em minutos quanto a dosagem de hipoclorito de cálcio em miligramas por litro aplicada possuem resultados em média iguais estatisticamente falando. De acordo com a tabela 5.39 o que se verifica é que tanto o tempo de contato quanto a dosagem de hipoclorito de cálcio são fatores que não sofrem influência, por outro lado, a taxa hidráulica e a vala de filtração sofrem influência, por essa razão há uma variação dos resultados de turbidez com a variação da taxa hidráulica e com a variação da vala de filtração.

A boa remoção de turbidez contribui na posterior desinfecção do efluente, visto que os sólidos em suspensão podem servir de abrigo para os microrganismos patogênicos, esse sim é um fator que pode ter contribuído em muito para o sucesso da desinfecção.

5.2.6 Alcalinidade

A alcalinidade foi medida em duas separadamente, observou-se a alcalinidade parcial e a total, o pH em que se mediu a alcalinidade parcial foi de 5,75 e a alcalinidade total foi medida em pH 4,50. A alcalinidade parcial e a total serão discutidas juntas.

5.2.6.1 Alcalinidade parcial

Para a alcalinidade parcial foram alcançados valores entre 2,61 e 31,30 mg $\text{CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$ para os efluentes das valas de filtração (afluente desta pesquisa). O que pode ser observado através dos valores obtidos é que para a vala 0,25 a alcalinidade parcial variou de 2,61 a 22,33 mg $\text{CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$, para a vala 0,50 a alcalinidade parcial variou entre 15,63 e 30,30 mg $\text{CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$ e para a vala 0,75 a alcalinidade parcial variou entre 10,42 a 14,7 mg $\text{CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$. As figuras 5.48, 5.49 e 5.50 mostram a alcalinidade parcial para as valas 0,25, 0,50 e 0,75 m, respectivamente, com relação ao tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio em miligramas por litro.

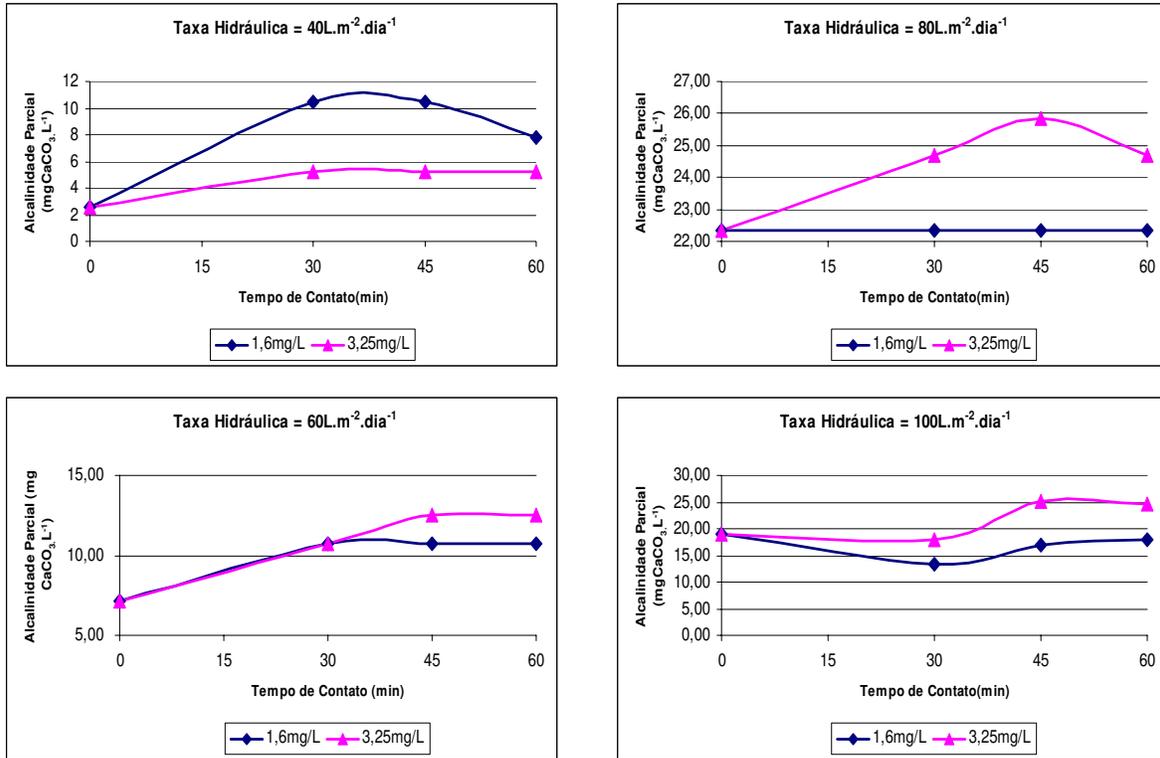


Figura 5.48 – Alcalinidade parcial para a vala 0,25 m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L⁻¹).

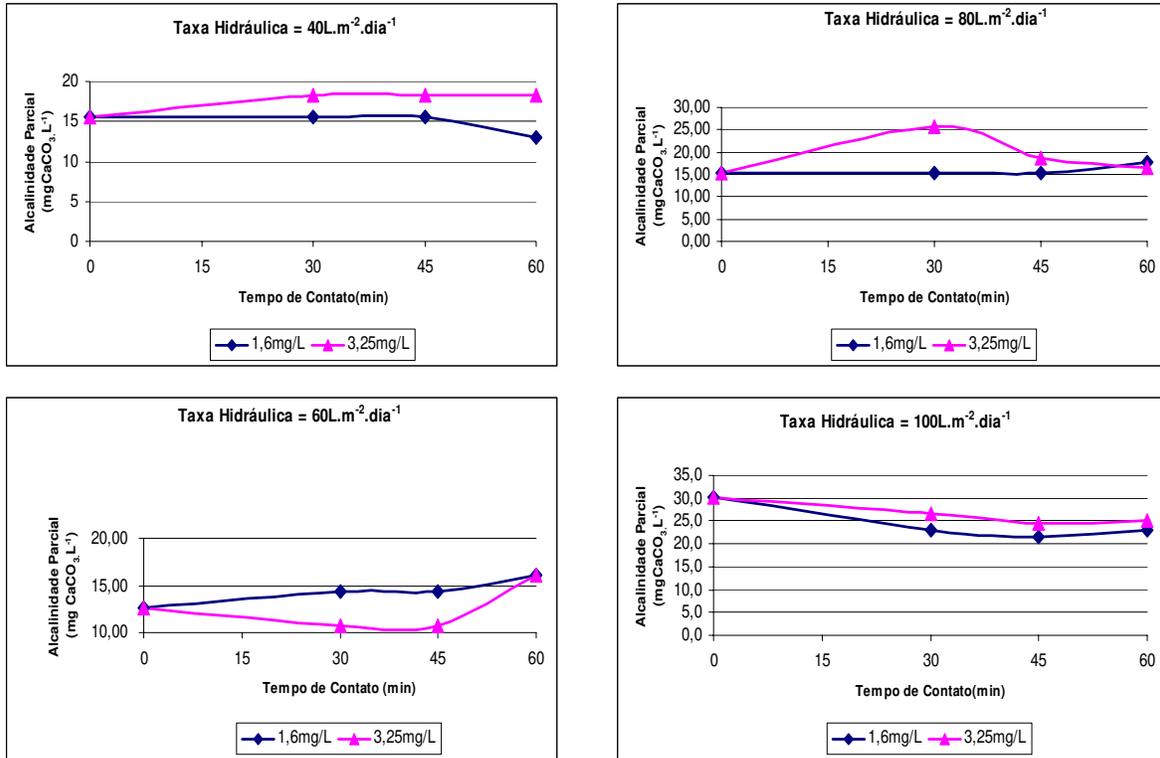


Figura 5.49 – Alcalinidade parcial para a vala 0,50 m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L⁻¹)

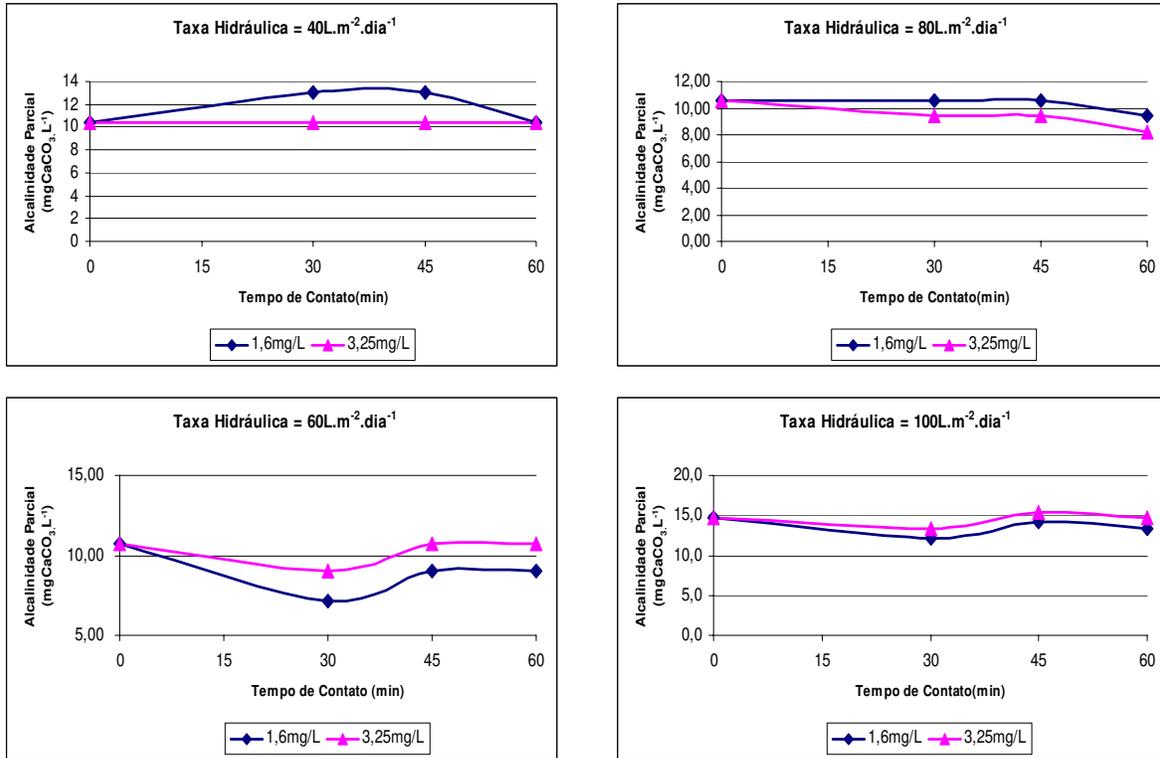


Figura 5.50 – Alcalinidade parcial para a vala 0,75 m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L⁻¹)

Verificou-se através dos resultados apresentados nas figuras 5.48, 5.49 e 5.50 é que com o aumento da taxa hidráulica há um aumento na alcalinidade parcial.

5.2.6.2 Alcalinidade total

Os valores obtidos para os afluentes desta pesquisa foram: 7,80 a 37,5 mg $\text{CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$, para a vala 0,25 os valores obtidos para a alcalinidade total variaram entre 10,42 e 34,20 mg $\text{CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$, para a vala 0,50 a alcalinidade total variou entre 17,90 e 34,60 mg $\text{CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$ e para a vala 0,75 a alcalinidade total variou entre 13,00 e 20,00 mg $\text{CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$. As figuras 5.51, 5.52 e 5.53 apresentam a alcalinidade total para as valas 0,25, 0,50 e 0,75 m, respectivamente, com relação ao tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio em miligramas por litro.

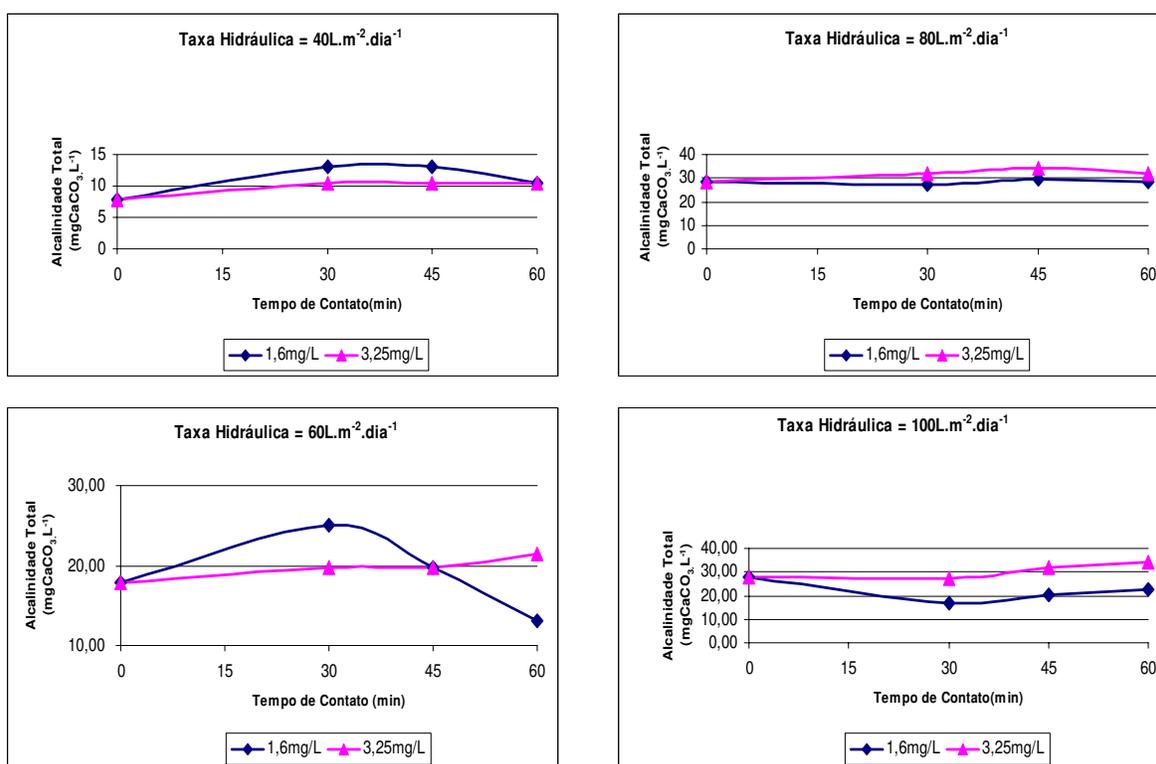


Figura 5.51 – Alcalinidade total para a vala 0,25 m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L^{-1})

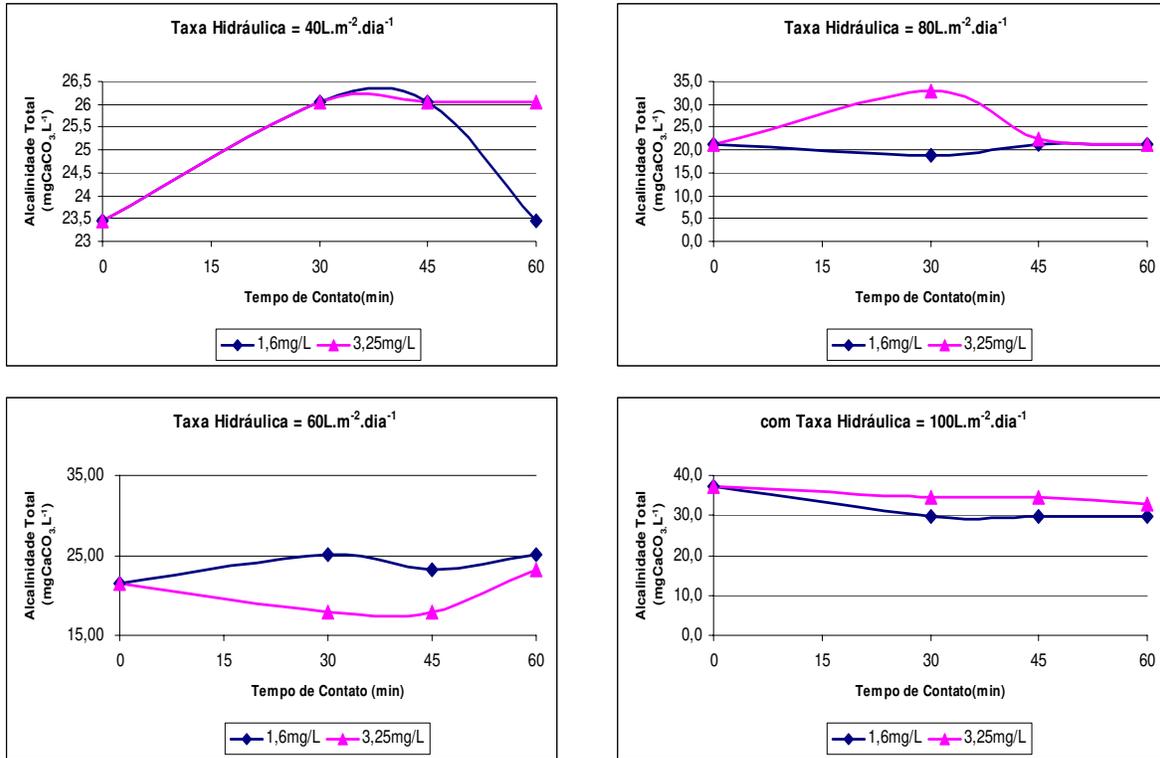


Figura 5.52 – Alcalinidade total para a vala 0,50 m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L⁻¹)

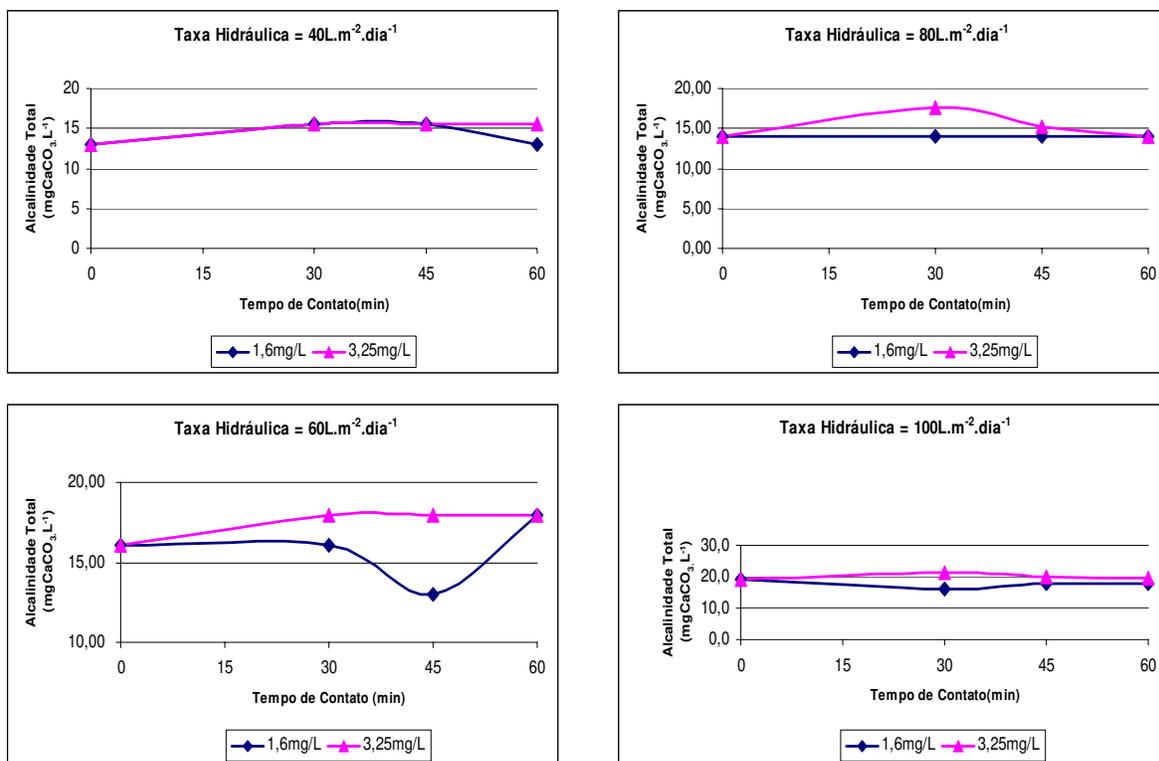


Figura 5.53 – Alcalinidade total para a vala 0,75 m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L⁻¹)

O que pode-se verificar é que a alcalinidade total aumenta com o aumento da taxa hidráulica, os maiores valores de alcalinidade total alcançados foram obtidos na taxa hidráulica de 100 L m⁻² dia⁻¹. Verifica-se também que em geral, quanto maior a dosagem de hipoclorito de cálcio aplicada maior é a alcalinidade total. Ao analisar as figuras 5.51, 5.52 e 5.53 verifica-se que a alcalinidade total é maior na vala 0,50 isso pode ter acontecido, pois a vala 0,50 foi a que apresentou maior quantidade de algas em seu interior e esse fator pode ter acarretado no aumento da alcalinidade. Análises estatísticas foram realizadas e a tabela 5.44 apresenta a relação entre as variáveis: alcalinidade parcial e alcalinidade total e a dosagem de hipoclorito de cálcio aplicada e tempo de contato estudado.

Tabela 5.44 – Relação entre as variáveis: alcalinidade parcial e total e a dosagem de hipoclorito de cálcio aplicada e tempo de contato estudado.

Agrupamento Tukey ⁽¹⁾			
Tratamento estudado		Alcalinidade Parcial*	Alcalinidade Total*
Tempo de Contato (min)	0	A	A
	30	A	A
	45	A	A
	60	A	A
Dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L ⁻¹)	0	A	A
	1.6	A	A
	3.25	A	A

(1) Significa que os resultados foram agrupados através das letras em maiúsculo;

* mg CaCO₃ L⁻¹

Pela tabela 5.44 observa-se que tanto para a variável alcalinidade parcial quanto para a alcalinidade total é que em média, para a estatística, seus resultados podem ser considerados iguais, portanto, nem dosagem de hipoclorito de cálcio, nem tempo de contato são parâmetros influenciáveis. A partir da tabela 5.39 que a alcalinidade parcial e total são influenciadas pelas valas de filtração e pela taxa hidráulica, essa conclusão foi observada também a partir da análise das figuras.

5.2.7 Cor

A variável cor é medida em: cor aparente e cor verdadeira, porém de acordo com a CONAMA 357/05 apenas a cor verdadeira é importante para o lançamento deste efluente em corpos receptores. A cor aparente e a verdadeira serão analisadas conjuntamente.

5.2.7.1 Cor aparente

Os valores alcançados para a cor aparente para a afluyente desta pesquisa, ou seja, o efluente que não sofreu desinfecção variou entre 11 e 101 mg L⁻¹ Pt, para a vala 0,25 entre 22 e 35 mg L⁻¹ Pt, para a vala 0,50 a cor aparente variou entre 15 e 61 mg L⁻¹ Pt e para a vala 0,75 a cor aparente variou entre 8 e 76 mg L⁻¹ Pt. As figuras 5.54, 5.55 e 5.56 apresentam a cor aparente para as valas 0,25, 0,50 e 0,75 m, respectivamente, com relação ao tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio em miligramas por litro.

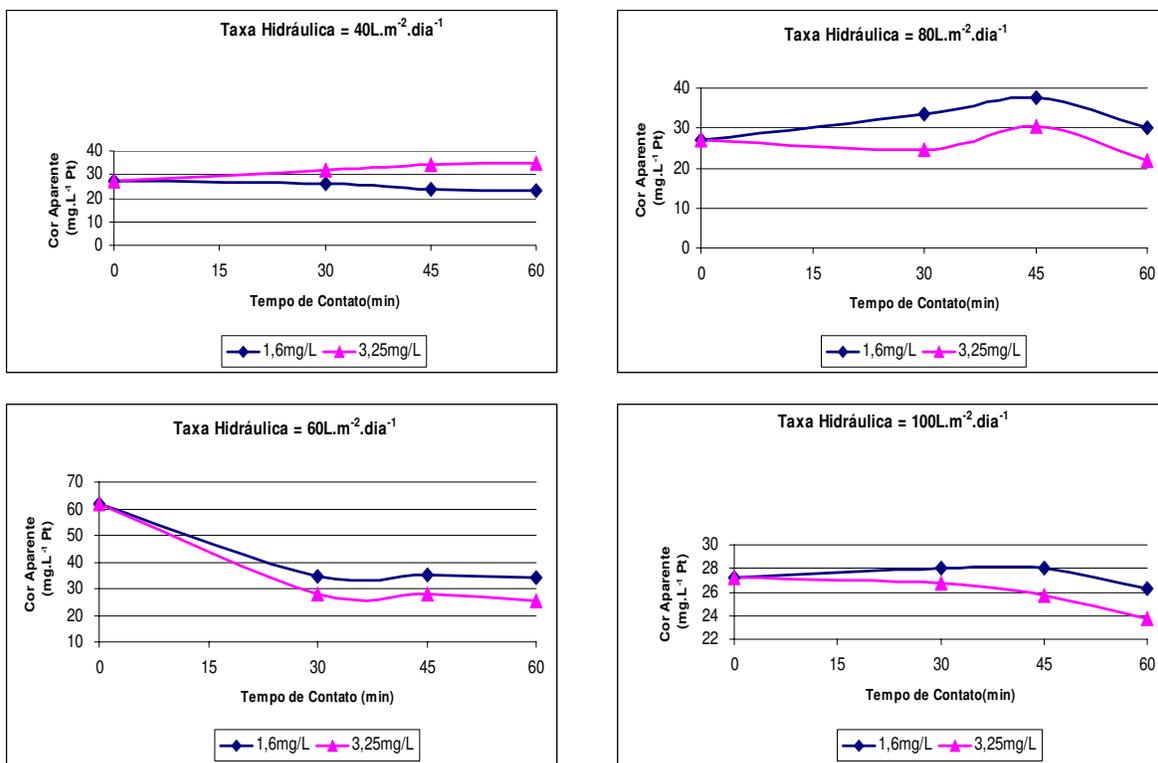


Figura 5.54 – Cor aparente para a vala 0,25 m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L⁻¹)

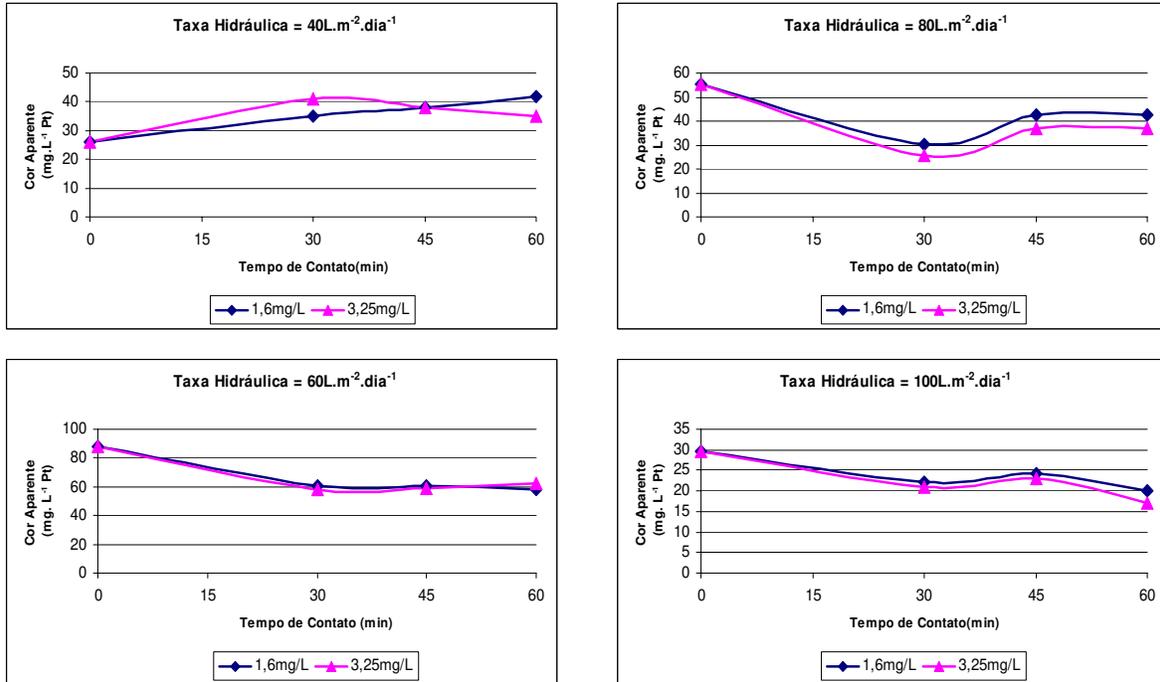


Figura 5.55 – Cor aparente para a vala 0,50 m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L⁻¹)

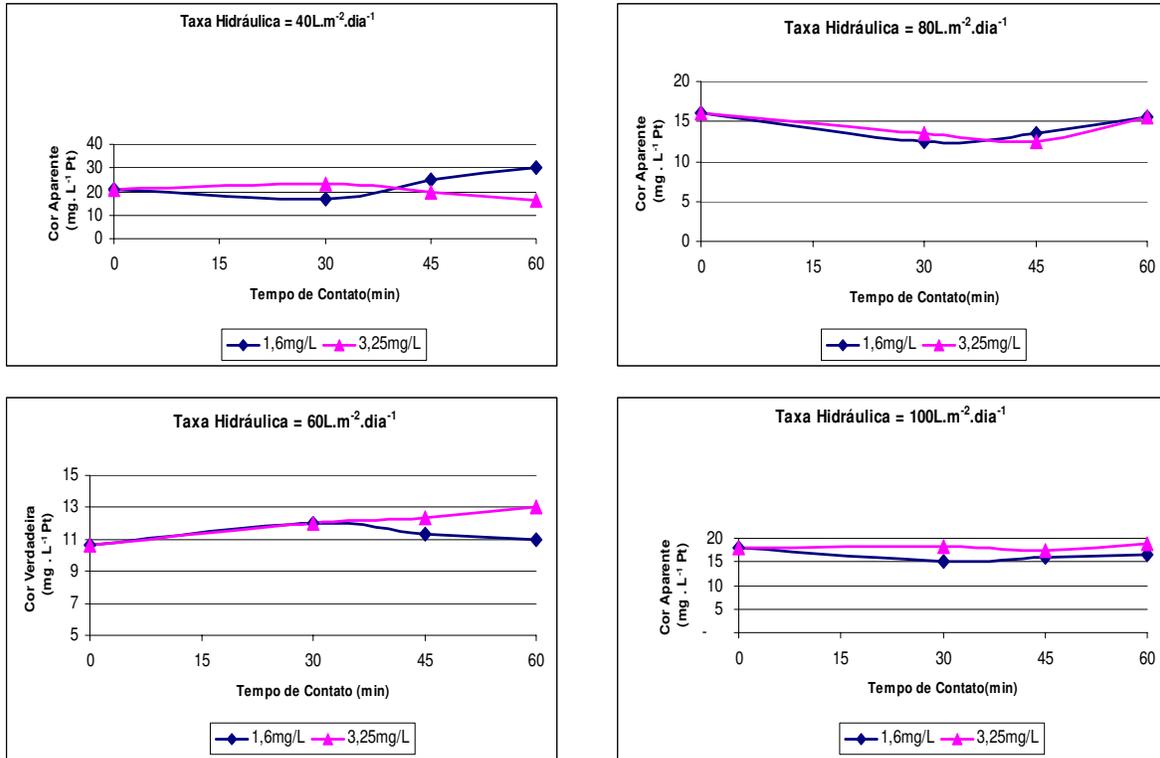


Figura 5.56 – Cor aparente para a vala 0,75 m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L^{-1})

O que se verificou é que a taxa de $60 \text{ L m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ possui a maior cor aparente, isso pode ter acontecido por ter sido a última taxa hidráulica estudada, mas em geral para a vala de 0,25 os valores para a cor aparente tanto do afluente quanto para os efluentes desinfetados não tiveram grandes alterações em seus valores. Para a vala de 0,50 os valores de cor aparente foram os maiores alcançados e para a vala 0,75 os valores de cor aparente foram os menores obtidos, chegando a ser inferiores aos alcançados nas valas de 0,25, portanto, por essa razão verifica-se que a vala 0,75 têm uma maior eficiência em relação a cor aparente.

5.2.7.2 Cor verdadeira

Os valores alcançados para a cor verdadeira para o afluente desta pesquisa, ou seja, o efluente que não sofreu desinfecção variou entre 7 e 31 mg L⁻¹ Pt, para a vala 0,25 entre 7 e 18 mg L⁻¹ Pt, para a vala 0,50 a cor verdadeira variou entre 6 e 23 mg L⁻¹ Pt e para a vala 0,75 a cor verdadeira variou entre 2 e 28 mg L⁻¹ Pt. As figuras 5.57, 5.58 e 5.59 apresentam a cor verdadeira para as valas 0,25, 0,50 e 0,75 m, respectivamente, com relação ao tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio em miligramas por litro.

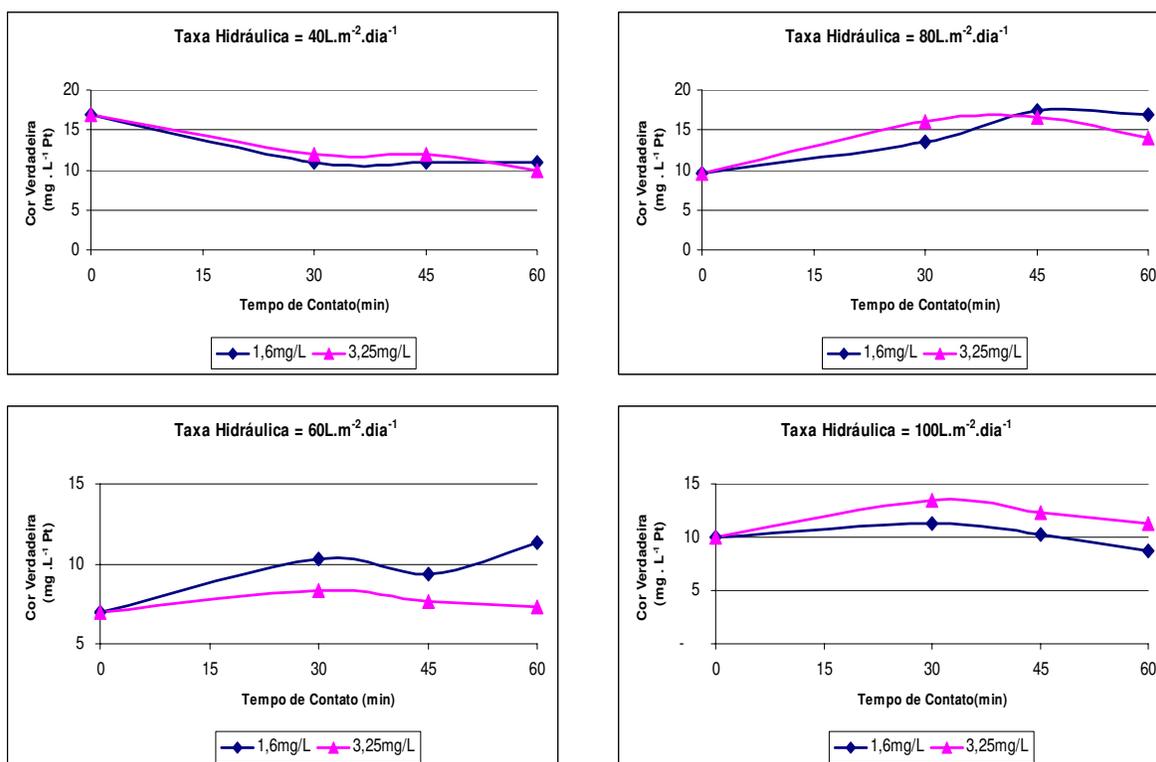


Figura 5.57 – Cor verdadeira para a vala 0,25 m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L⁻¹)

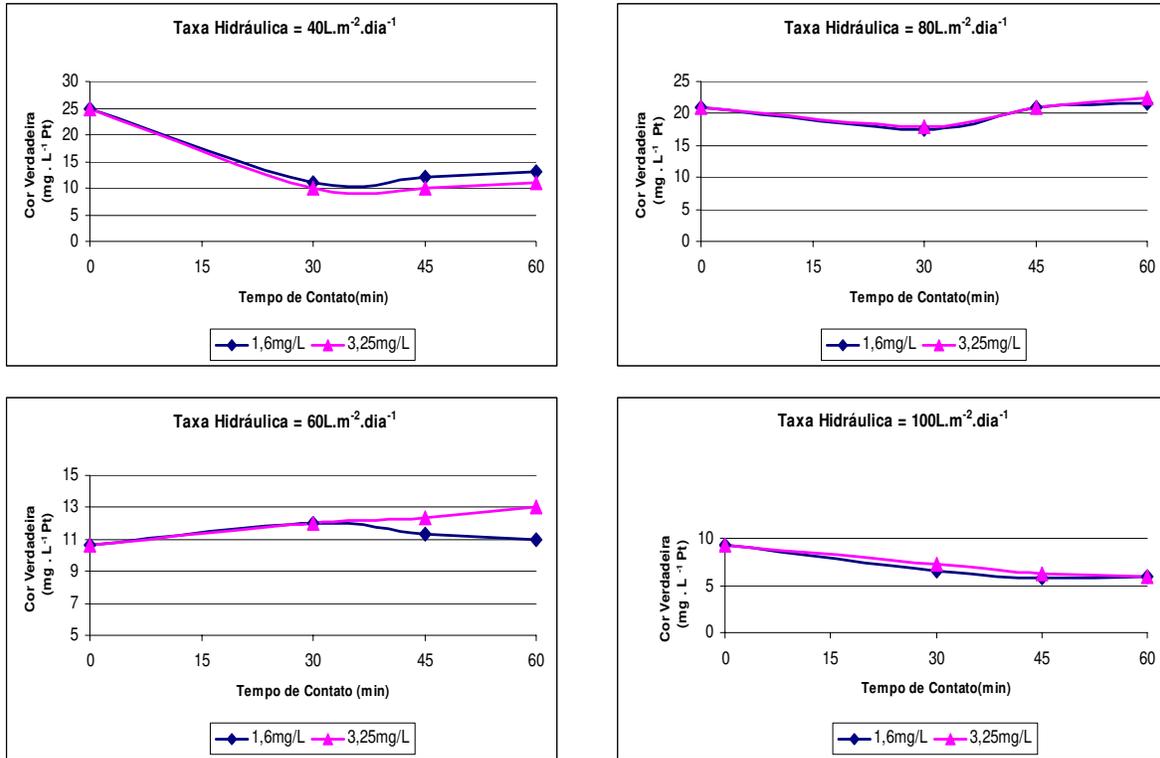


Figura 5.58 – Cor verdadeira para a vala 0,50 m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L⁻¹)

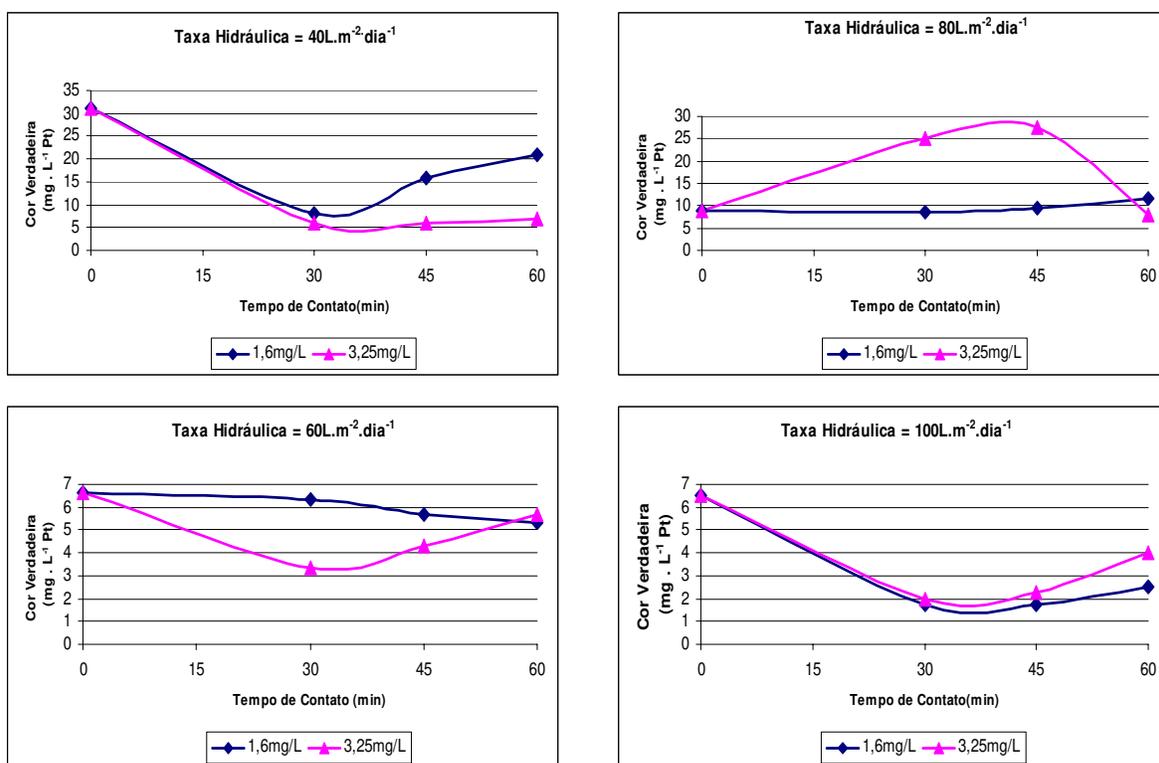


Figura 5.59 – Cor verdadeira para a vala 0,75 m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L⁻¹)

O que se verifica é que a partir das figuras 5.57, 5.58 e 5.59 é que a vala 0,75 apresentou menores resultados de cor verdadeira, de acordo com a CONAMA 357/05 a quantidade máxima de cor verdadeira para padrões de qualidade em rios de classe 2 é de até 75 mg Pt L⁻¹, com isso verifica-se que o afluente e os efluentes estão dentro da legislação. Ao analisar a figura 5.59 em separado na taxa hidráulica de 80 L m⁻² dia⁻¹ verificou-se comportamento diferente das demais figuras, isso aconteceu por causa de problemas na bomba de alimentação das valas e nesse período o sistema ficou sem operação causando variação da cor verdadeira.

Em geral, após a desinfecção os valores da cor verdadeira foram menores, portanto, com a adição do desinfetante há uma diminuição da cor verdadeira. A figura 5.60 apresenta a verificação da cor dos esgotos brutos, afluentes e efluentes das valas de filtração, na 10^o semana de aplicação e a figura 5.61 na 22^o semana de aplicação.

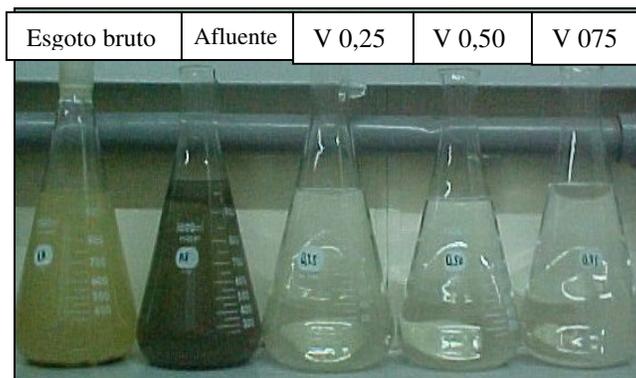


Figura 5.60 – Verificação da cor dos esgotos brutos, afluentes e efluentes das valas de filtração, na 10^o semana de aplicação.

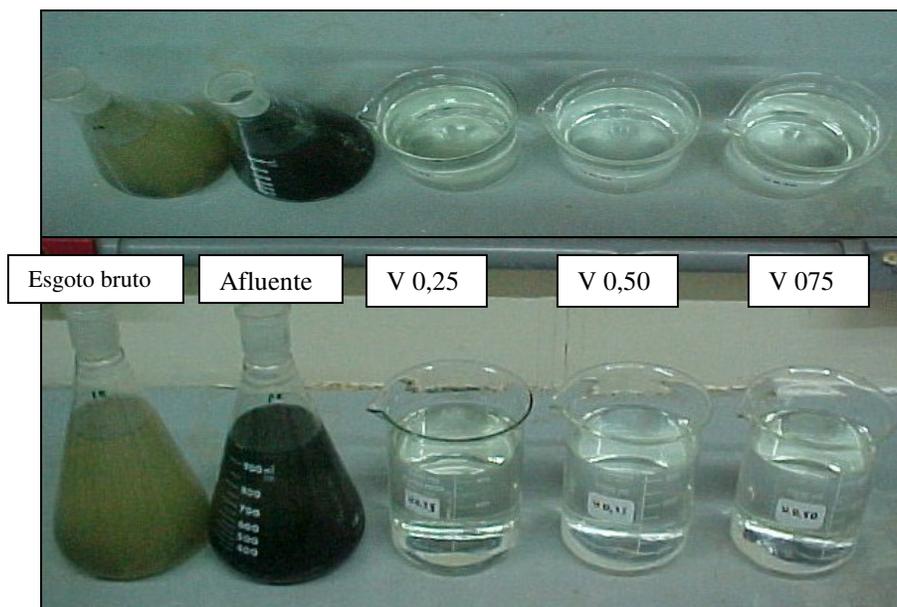


Figura 5.61: Esgotos brutos, Afluentes e efluentes das valas de filtração na 22^o semana de aplicação em vista superior e lateral.

Análises estatísticas foram realizadas e a tabela 5.45 apresenta a relação entre as variáveis: cor aparente e verdadeira e a dosagem de hipoclorito de cálcio aplicada e tempo de contato estudado.

Tabela 5.45 – Relação entre as variáveis: cor aparente e verdadeira e a dosagem de hipoclorito de cálcio aplicada e tempo de contato estudado.

Agrupamento Tukey ⁽¹⁾		
Tratamento estudado	Cor aparente**	Cor verdadeira**
Tempo de Contato (min)	0	A
	45	A B
	30	B
	60	B
Dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L ⁻¹)	0	B
	1.6	A
	3.25	A

(1) Significa que os resultados foram agrupados através das letras em maiúsculo; ** mg Pt L⁻¹

Pela tabela 5.45 o que se verifica é que para a cor verdadeira tanto o tempo de contato e minutos quanto à dosagem de hipoclorito de cálcio em miligramas por litro em média possuem os valores iguais, porém para a variável cor aparente tanto o tempo de contato quanto a dosagem de hipoclorito de cálcio em média não possuem resultados iguais, ou seja, são diferentes entre si. De acordo com a tabela 5.39 verifica-se que para a cor aparente as valas de filtração, o tempo de contato, a dosagem de hipoclorito de cálcio e a taxa hidráulica são todos parâmetros que dependem da variável cor aparente. Para a variável cor verdadeira as valas de filtração e a taxa hidráulica são parâmetros que dependem da variável, por outro lado o tempo de contato e a dosagem de hipoclorito de cálcio não dependem.

5.2.8 Série de nitrogênio

A série de nitrogênio está dividida em: nitrato, nitrito, nitrogênio amoniacal e nitrogênio orgânico. Todas essas variáveis serão analisadas estatisticamente conjuntamente.

5.2.8.1 Nitrato

Os valores alcançados para a concentração de nitrato para o afluente desta pesquisa, ou seja, o efluente que não sofreu desinfecção variou entre 50 e 114 mg L⁻¹ e para a vala 0,25 entre 44 e 148 mg L⁻¹, para a vala 0,50 a concentração de nitrato variou entre 51 e 136 mg L⁻¹ e para a vala 0,75 a concentração de nitrato variou entre 50 e 159 mg L⁻¹. As figuras 5.62, 5.63 e 5.64 apresentam a concentração de nitrato para as valas 0,25, 0,50 e 0,75 m, respectivamente, com relação ao tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio em miligramas por litro.

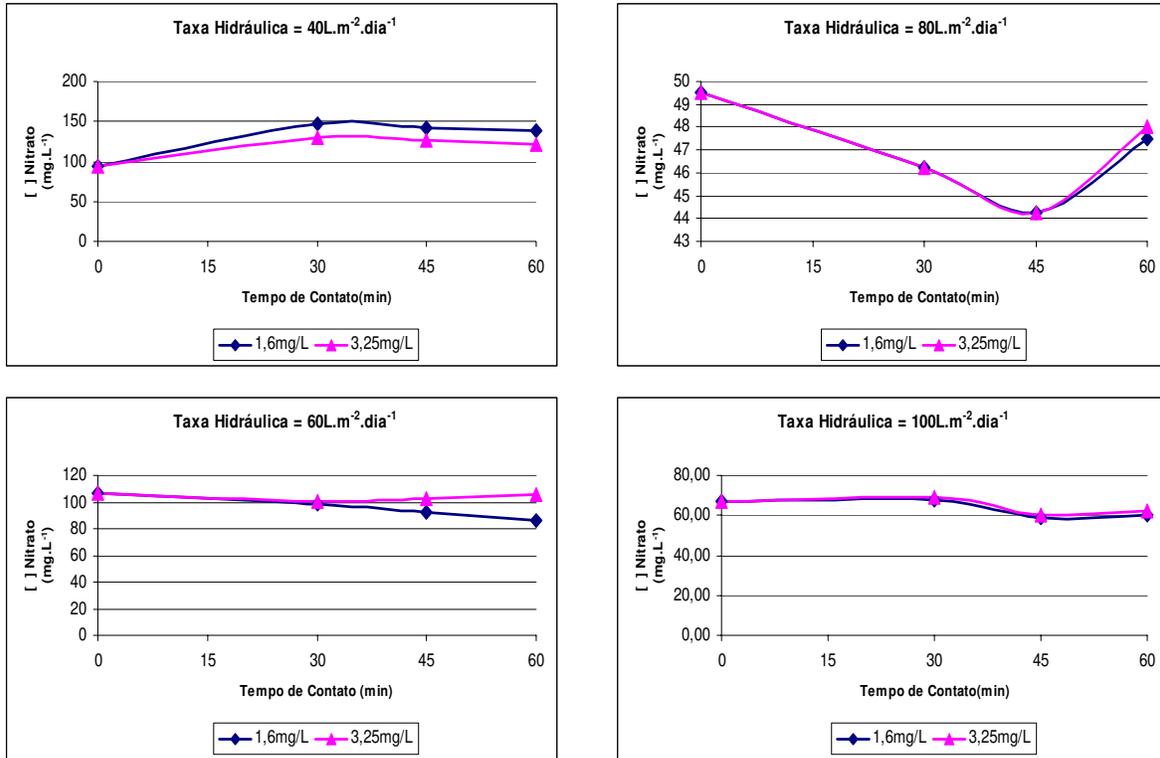


Figura 5.62 – Concentração de nitrato para a vala 0,25 m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L⁻¹)

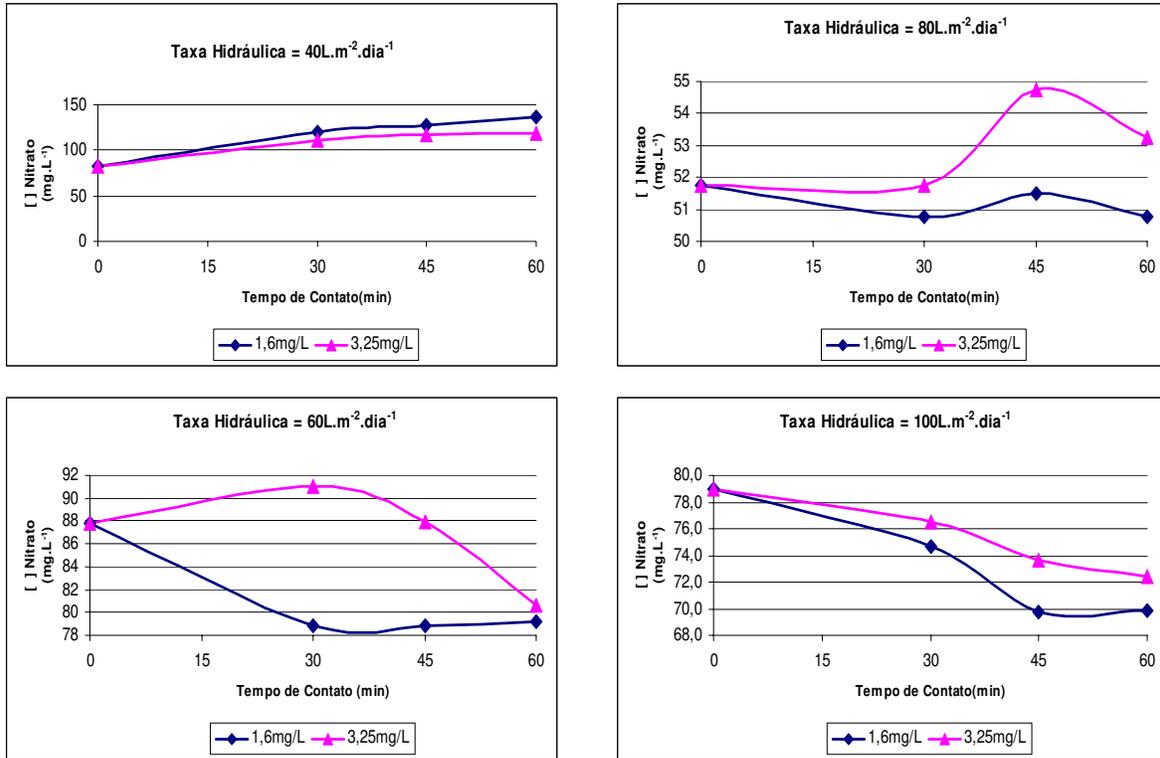


Figura 5.63 – Concentração de nitrato para a vala 0,50 m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L⁻¹)

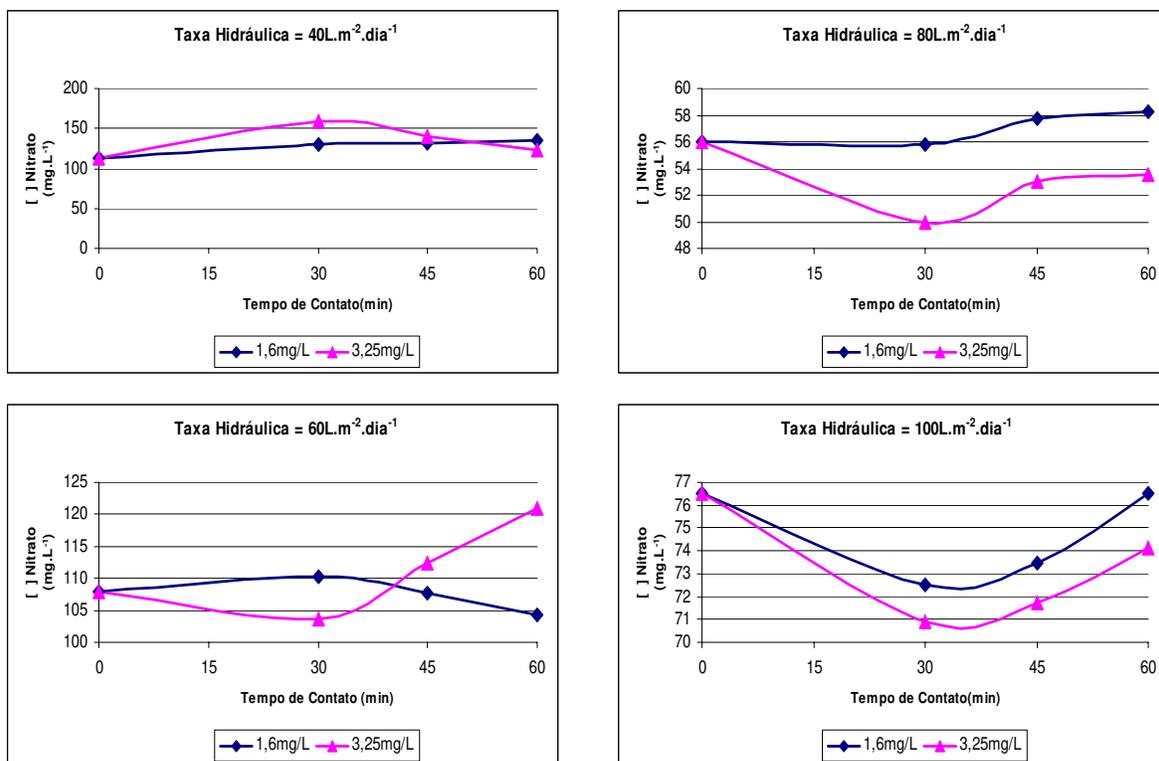


Figura 5.64 – Concentração de nitrato para a vala 0,75 m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L^{-1})

Em geral, pelas figuras percebe-se que o comportamento das dosagens de hipoclorito de cálcio foram iguais, assim como o tempo de contato. O que se verificou foi uma grande quantidade de nitrato formado nas valas de filtração e percebe-se que em geral, ao adicionar o desinfetante, o hipoclorito de cálcio, a concentração de nitrato diminuiu. Verificou-se que a quantidade de nitrogênio amoniacal e orgânico presentes no efluente anaeróbico que era aplicado nas valas de filtração se transformou em nitrato. A quantidade de nitrato em muitos casos ultrapassou 100 mg L^{-1} , um valor muito alto e que não atendem a legislação CONAMA 357/05. Análises estatísticas para esses dados serão explicadas oportunamente.

5.2.8.2 Nitrito

Os valores alcançados para a concentração de nitrito para o afluente desta pesquisa, ou seja, o efluente que não sofreu desinfecção variou entre 0,012 e 0,344 mg L⁻¹ e para a vala 0,25 entre 0,006 e 0,162 mg L⁻¹, para a vala 0,50 a concentração de nitrito variou entre 0,021 e 0,350 mg L⁻¹ e para a vala 0,75 a concentração de nitrito variou entre 0,004 e 0,037 mg L⁻¹. As figuras 5.65, 5.66 e 5.67 apresentam a concentração de nitrito para as valas 0,25, 0,50 e 0,75 m, respectivamente, com relação ao tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio em miligramas por litro.

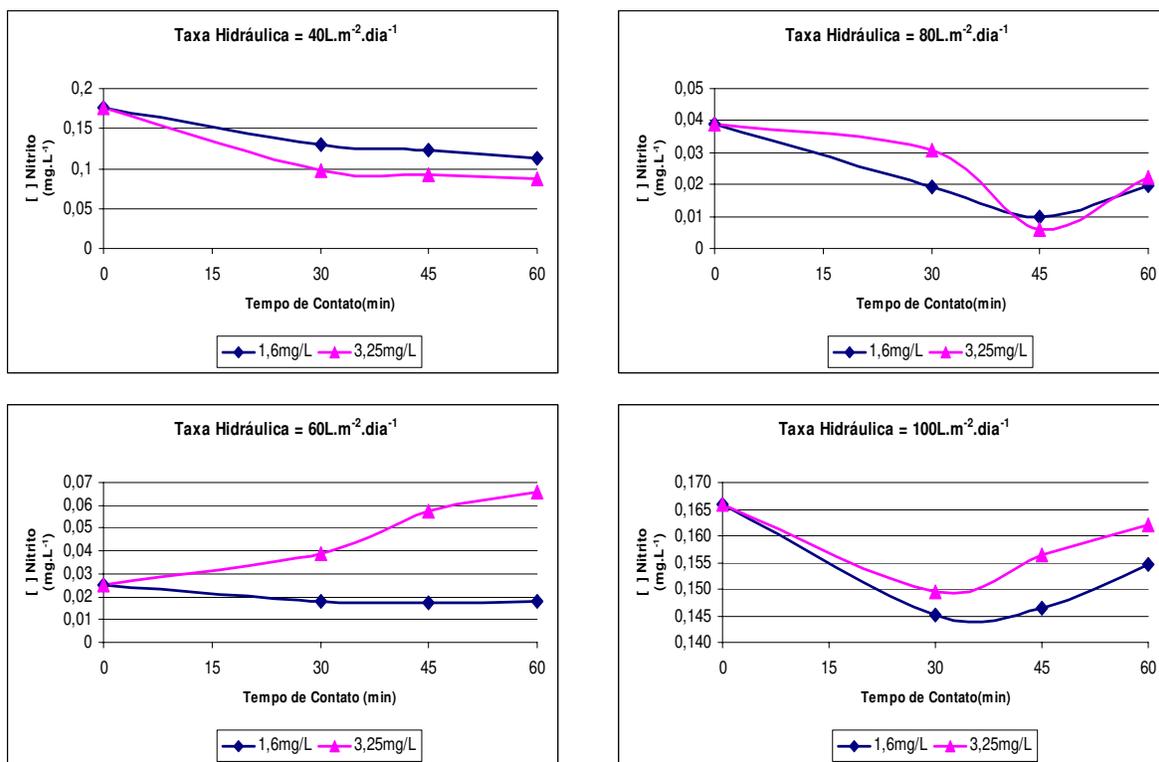


Figura 5.65 – Concentração de nitrito para a vala 0,25 m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L⁻¹)

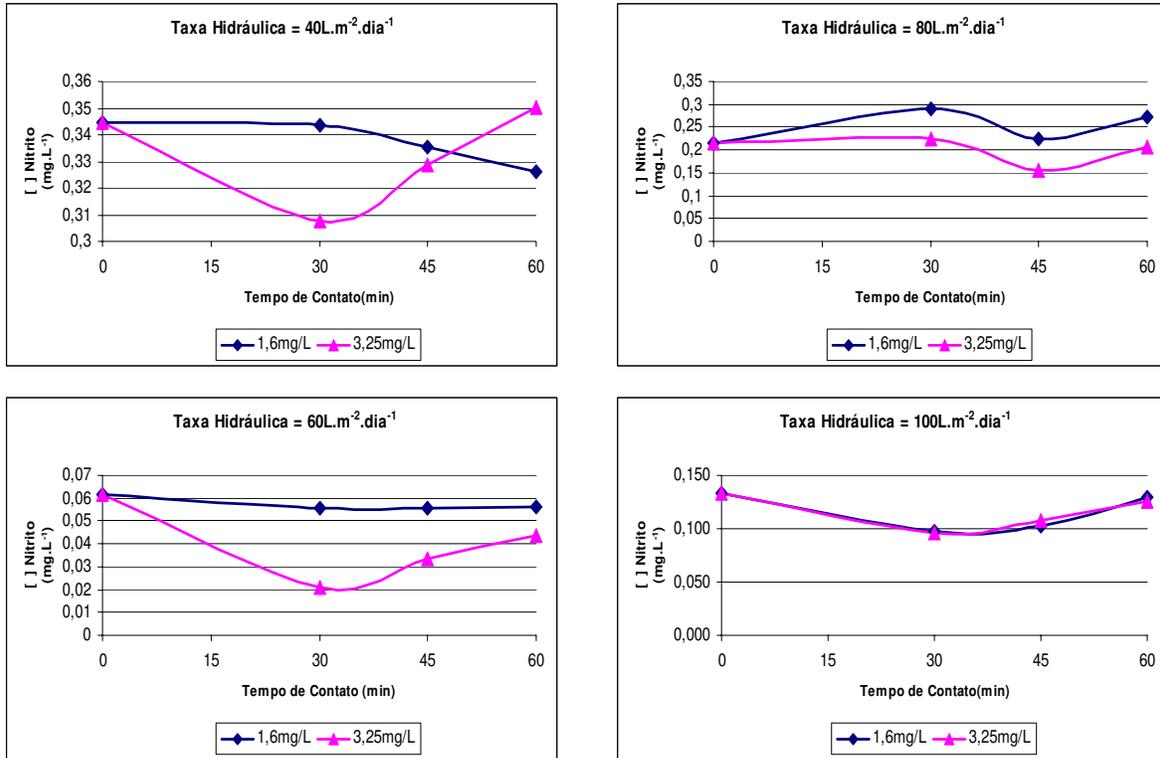


Figura 5.66 – Concentração de nitrito para a vala 0,50 m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L⁻¹)

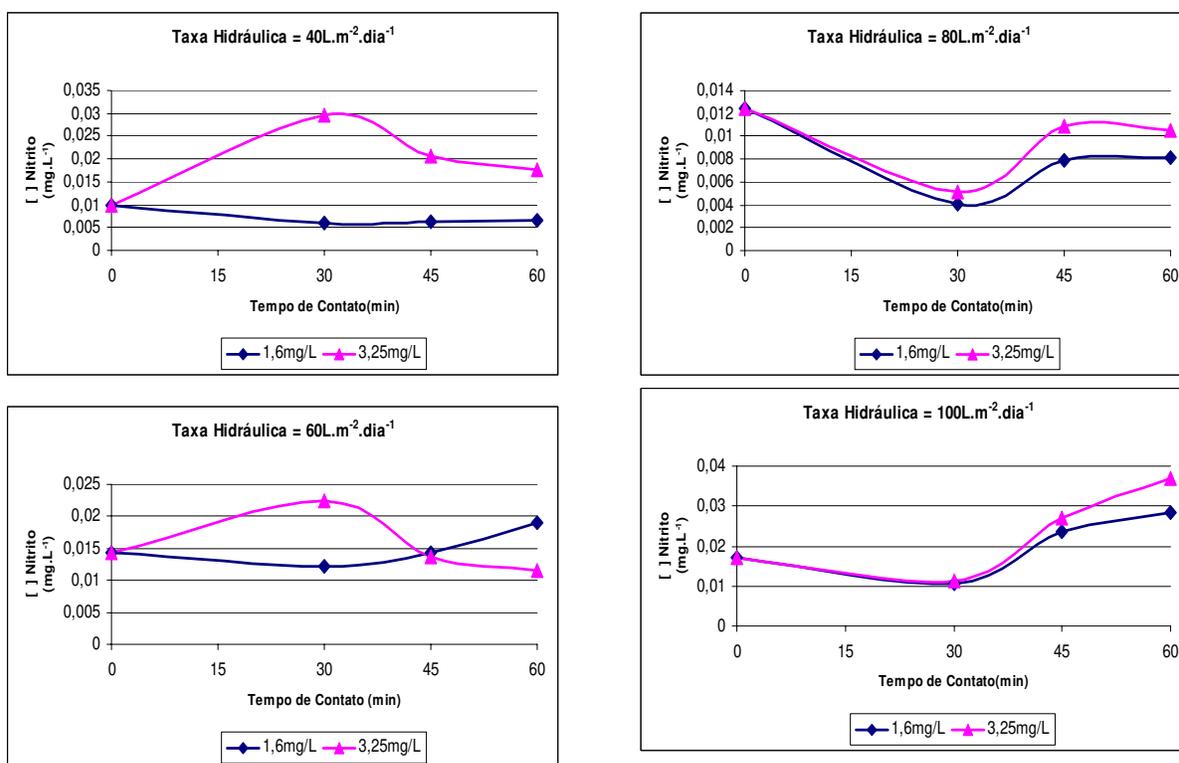


Figura 5.67 – Concentração de nitrito para a vala 0,75 m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L⁻¹)

Verifica-se através das figuras 5.65, 5.66 e 5.67 que a dosagem de hipoclorito de cálcio e tempo de contato não são tratamentos que influenciam a variável nitrito. Como já dito anteriormente, a concentração de nitrogênio amoniacal foi todo convertido em nitrato e nitrito, este por sinal apenas houve uma pequena formação. A vala 0,75 foi a que apresentou os menores valores de nitrito fazendo com que qualquer que seja a dosagem aplicada (3,25 ou 1,6 mg L⁻¹) os valores alcançados de nitrito obedecem a resolução CONAMA 357/05 que diz que a quantidade máxima de nitrito para lançamento em corpos receptores de classe 1 é 1,0 mg L⁻¹ de nitrito. Análises estatísticas para esses dados serão explicados oportunamente.

5.2.8.3 Nitrogênio amoniacal

Os valores alcançados para a concentração de nitrogênio amoniacal para o afluente desta pesquisa, ou seja, o efluente que não sofreu desinfecção, variou entre 0,14 e 1,75 mg L⁻¹ e para a vala 0,25 a concentração de nitrogênio amoniacal variou entre 0,10 e 1,23 mg L⁻¹, para a vala 0,50 a concentração de nitrogênio amoniacal variou entre 0 e 0,92 mg L⁻¹ e para a vala 0,75 a concentração de nitrogênio amoniacal variou entre 0 e 1,85 mg L⁻¹. As figuras 5.68, 5.69 e 5.70 apresentam a concentração de nitrogênio amoniacal para as valas 0,25, 0,50 e 0,75 m, respectivamente, com relação ao tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio em miligramas por litro.

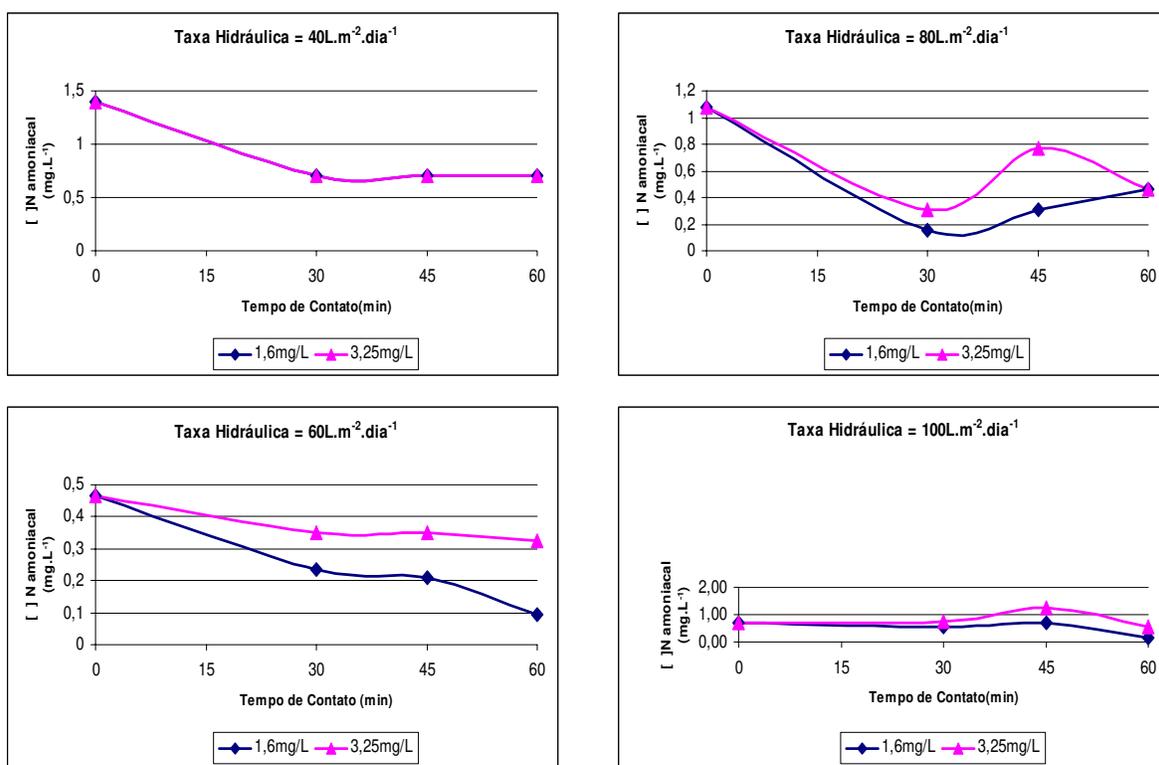


Figura 5.68 – Concentração de nitrogênio amoniacal para a vala 0,25 m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L⁻¹)

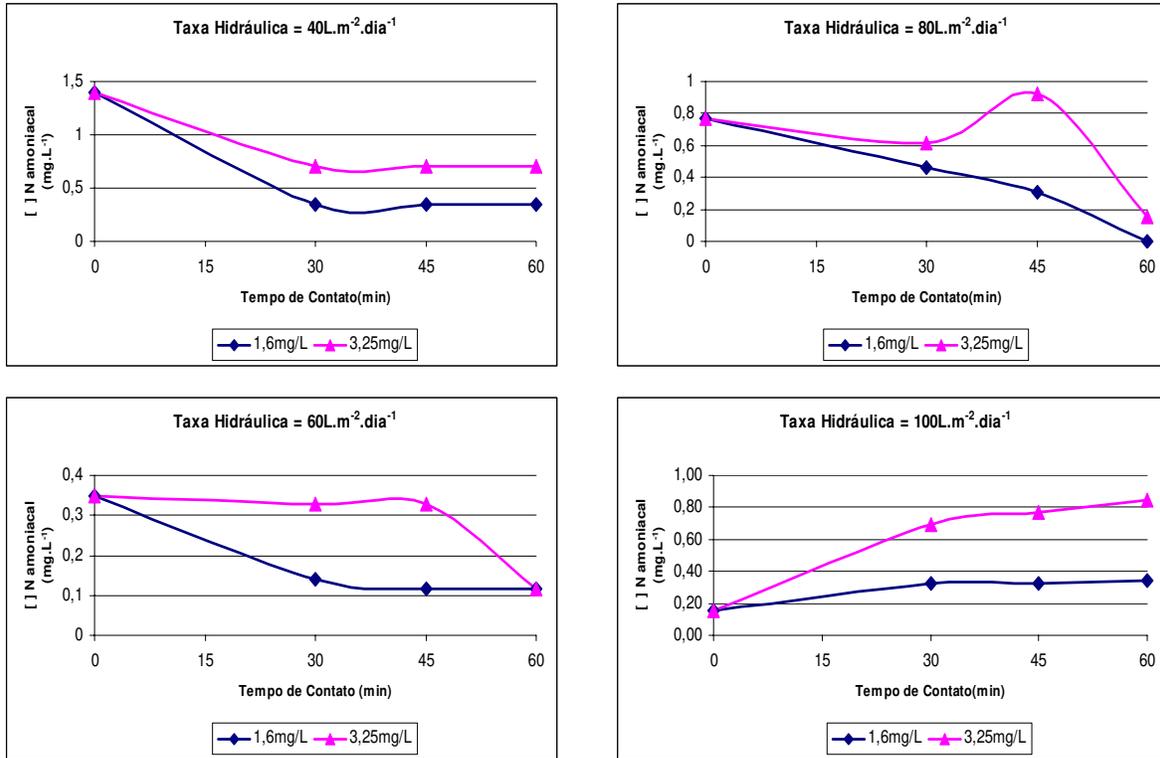


Figura 5.69 – Concentração de nitrogênio amoniacal para a vala 0,50 m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L⁻¹)

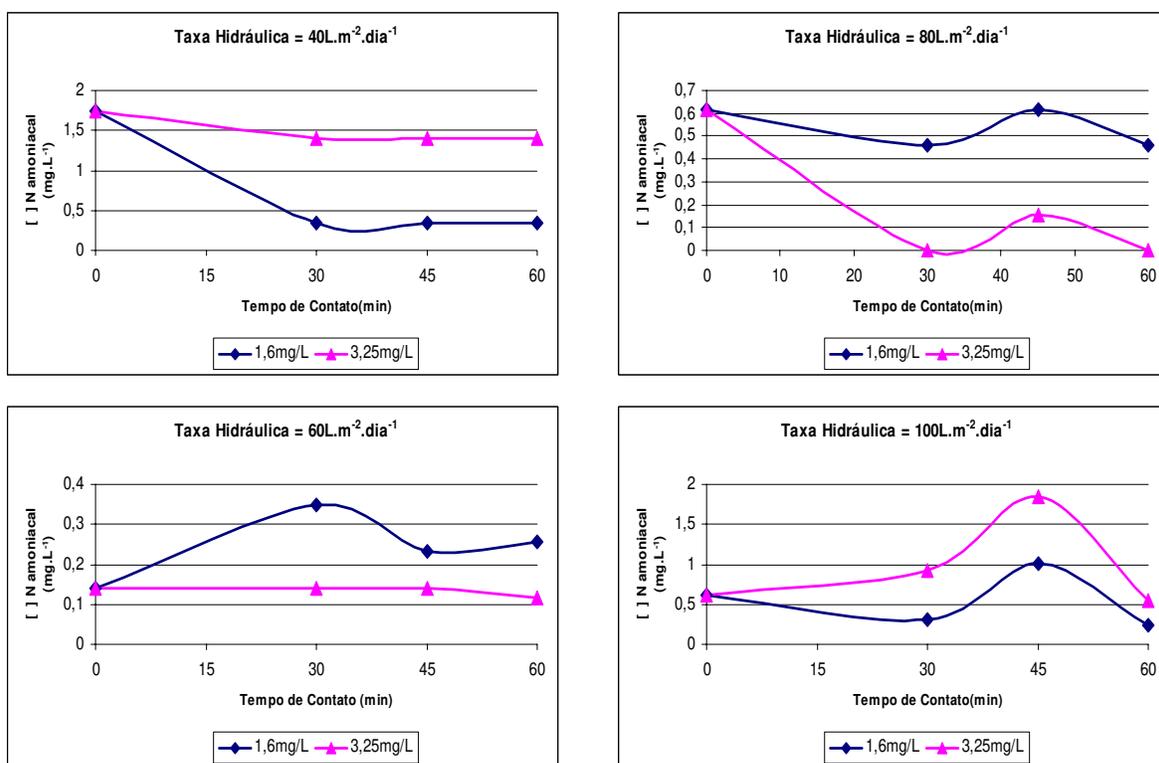


Figura 5.70 – Concentração de nitrogênio amoniaco para a vala 0,75 m versus Tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L⁻¹)

Verifica-se que a quantidade de nitrogênio amoniaco presente nas valas de filtração, em geral, foi muito pequena, devido ao fato das valas transformarem toda a quantidade de nitrogênio amoniaco em nitrato e nitrito. Verifica-se também que a dosagem nesse caso influencia a concentração final de nitrogênio amoniaco. Em todos os casos estudados a CONAMA 357/05 que prevê a quantidade máxima permitida de nitrogênio amoniaco que é de 20,0 mg L⁻¹ é obedecida. Análises estatísticas para esses dados serão explicadas oportunamente.

5.2.8.4 Nitrogênio orgânico

Os valores alcançados para a concentração de nitrogênio orgânico para o afluente desta pesquisa, ou seja, o efluente que não sofreu desinfecção, variou entre 0 e 0,92 mg L⁻¹ e para a vala 0,25 a concentração de nitrogênio orgânico variou entre 0 e 0,70 mg L⁻¹, para a vala 0,50 a concentração de nitrogênio orgânico variou entre 0 e 1,40 mg L⁻¹ e para a vala 0,75 a concentração de nitrogênio orgânico variou entre 0 e 0,70 mg L⁻¹. As figuras 5.71, 5.72 e 5.73 apresentam a concentração de nitrogênio orgânico para as valas 0,25, 0,50 e 0,75 m, respectivamente, com relação ao tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio em miligramas por litro.

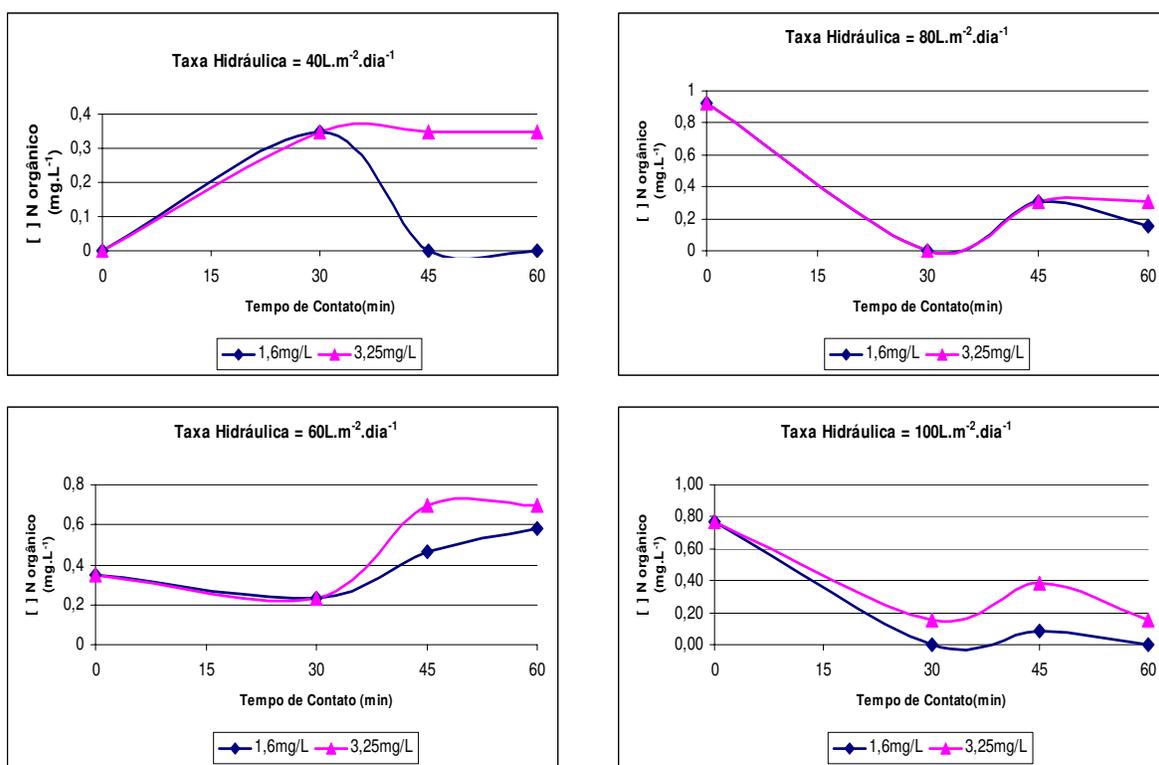


Figura 5.71 – Concentração de nitrogênio orgânico para a vala 0,25 m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L⁻¹)

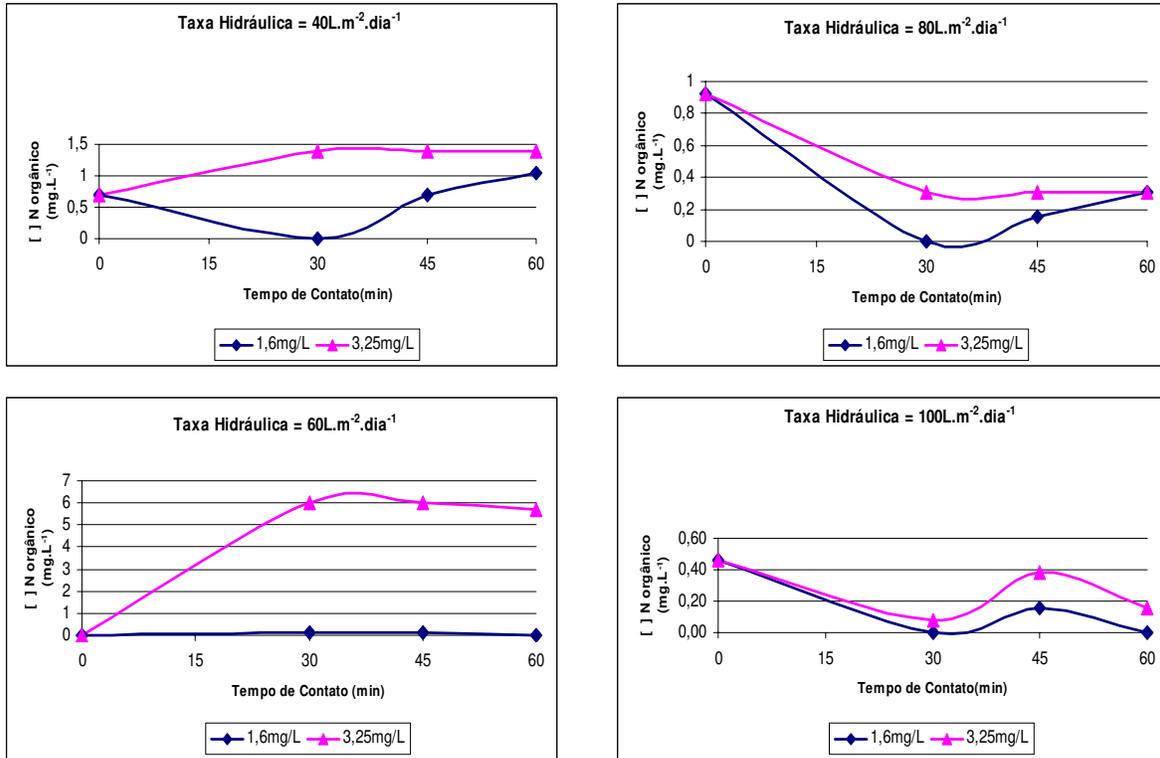


Figura 5.72 – Concentração de nitrogênio orgânico para a vala 0,50 m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L^{-1})

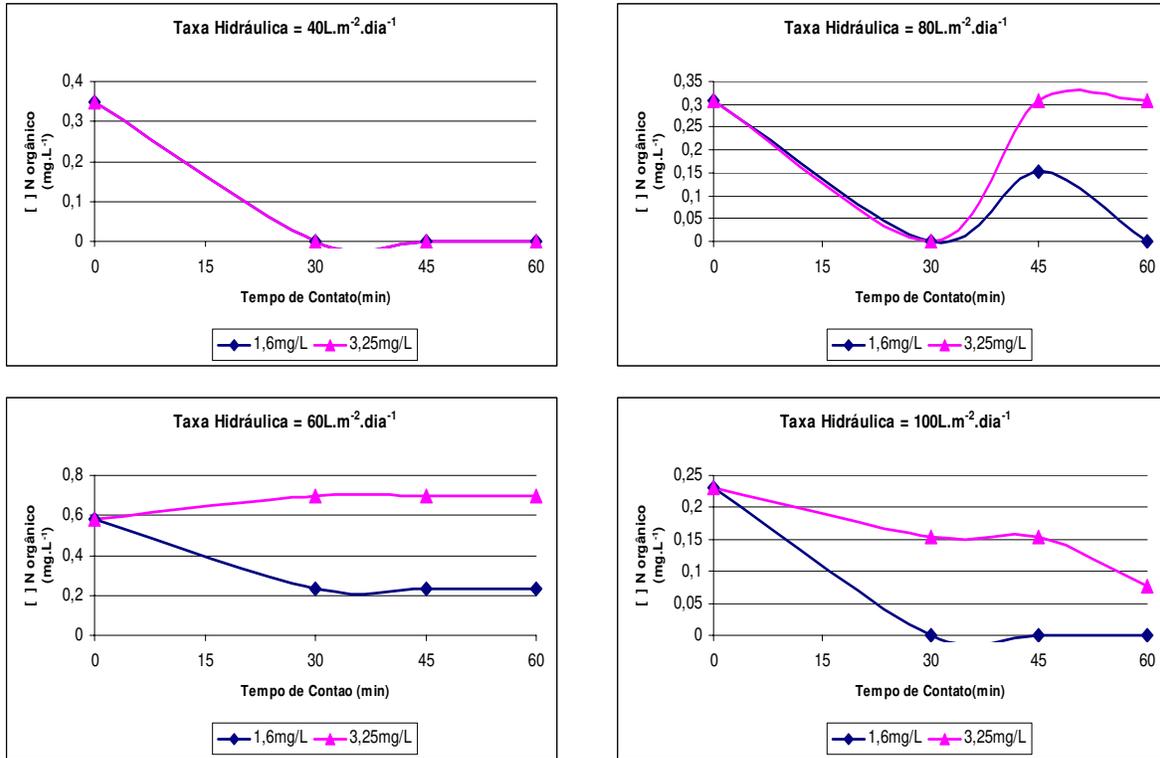


Figura 5.73 – Concentração de nitrogênio orgânico para a vala 0,75 m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L⁻¹)

Verifica-se que a concentração de nitrogênio orgânico é muito pequena em alguns casos, essa quantidade foi tão pequena que é praticamente desprezível. A vala 0,75 foi a que apresentou a menor concentração de nitrogênio orgânico. Análises estatísticas foram realizadas para verificar a relação entre as variáveis: nitrato, nitrito, nitrogênio amoniacal e nitrogênio orgânico com relação à dosagem de hipoclorito de cálcio aplicada e o tempo de contato estudado, veja tabela 5.46.

Tabela 5.46 – Relação entre as variáveis: nitrato, nitrito, N amoniacal e N orgânico e a dosagem de hipoclorito de cálcio aplicada e tempo de contato estudado.

Agrupamento Tukey ⁽¹⁾						
Tratamento estudado		Nitrato ^{***}	Nitrito ^{***}	Amoniacal ^{***}		Orgânico ^{***}
Tempo de Contato (min)	0	A	A	A		A
	30	A	A	B	C	A
	45	A	A	AB		A
	60	A	A		C	A
Dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L ⁻¹)	0	A	A		A	A B
	1.6	A	A	B		A
	3.25	A	A		A	B

(1) Significa que os resultados foram agrupados através das letras em maiúsculo; ***mg L⁻¹

Ao analisar a tabela 5.46 verifica-se que tanto para nitrato quanto para nitrito o tempo de contato em minutos e a dosagem de hipoclorito de cálcio em média possuem valores iguais, ou seja, são considerados estatisticamente iguais. Portanto, para essas duas variáveis o tempo de contato e a dosagem não são fatores influenciáveis. Para o nitrogênio amoniacal e orgânico verifica-se que o tempo de contato são diferentes, nenhum tempo de contato é igual ao outro e também para a dosagem de hipoclorito de cálcio possuem valores diferentes entre si, portanto, o tempo de contato e a dosagem são fatores influenciáveis. A partir da tabela 5.39 verifica-se através dos dados estatísticos que para a concentração de nitrato e nitrito, tanto o tempo de contato quanto a dosagem de hipoclorito de cálcio não possuem significância estatística, ou seja, não são fatores influenciáveis, porém, as valas de filtração e a taxa hidráulica são fatores que influenciam o resultado final. Para a concentração de nitrogênio amoniacal as valas de filtração é o único fator que não influencia o resultado final, sendo assim, o tempo de contato, a dosagem de hipoclorito de cálcio e a taxa hidráulica são fatores dependentes.

Para o nitrogênio orgânico o único fator que não é dependente é o tempo de contato aplicado, porém, as valas de filtração, a dosagem de hipoclorito de cálcio e a taxa hidráulica são fatores dependentes. Sendo assim, a nitrificação na valas passou a ter uma influência preponderante sobre o sistema, levando o pH a valores mais baixos.

5.2.9 Demanda química de oxigênio (DQO bruta)

A DQO bruta é assim chamada, pois o efluente não sofre nenhum tipo de alteração, ou seja, é calculada a DQO bruta diretamente do efluente. Os valores alcançados pela variável demanda química de oxigênio para o efluente bruto, ou seja, para o afluente desta pesquisa variou entre 12 e 93 mg O₂ L⁻¹ e para a vala 0,25 a DQO variou entre 18 e 54 mg O₂ L⁻¹, para a vala 0,50 a DQO variou entre 19 e 216 mg O₂ L⁻¹ e para a vala 0,75 a DQO variou entre 13 e 124 mg O₂ L⁻¹. As figuras 5.74, 5.75 e 5.76 apresentam a variação da demanda química de oxigênio bruta para as valas 0,25, 0,50 e 0,75 m, respectivamente, com relação ao tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio em miligramas por litro.

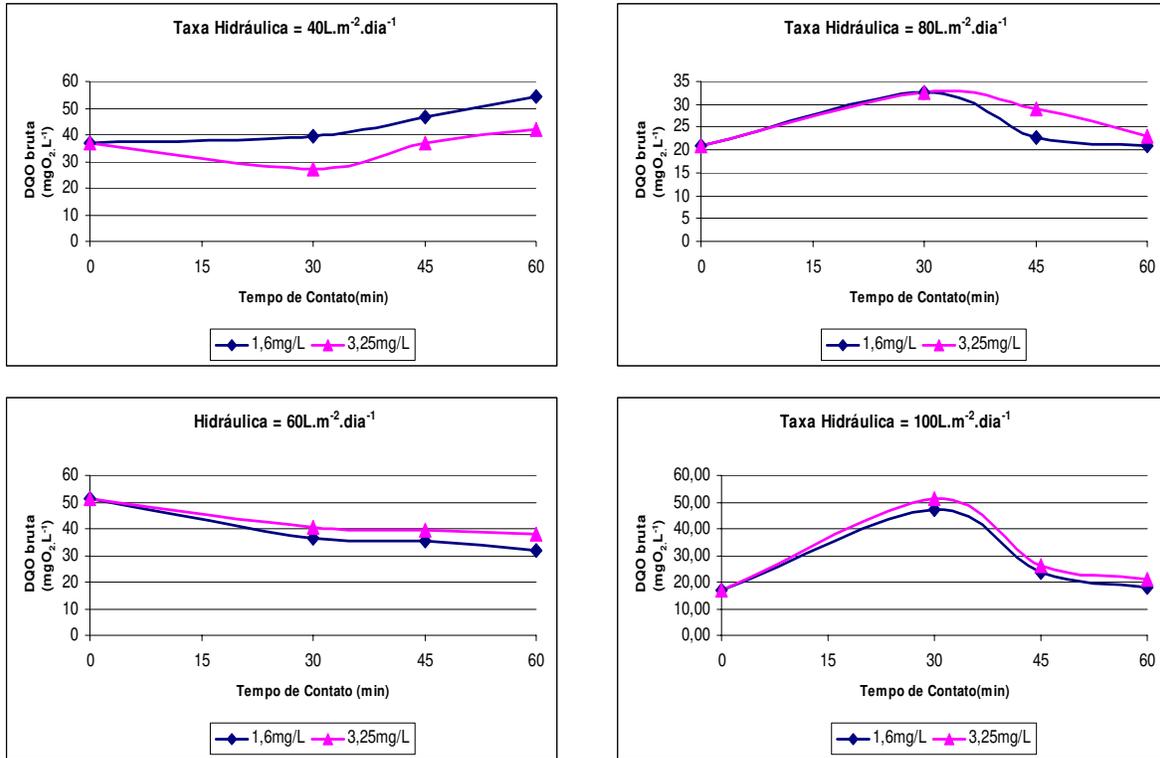


Figura 5.74 – Variação da DQO bruta para a vala 0,25 m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L⁻¹)

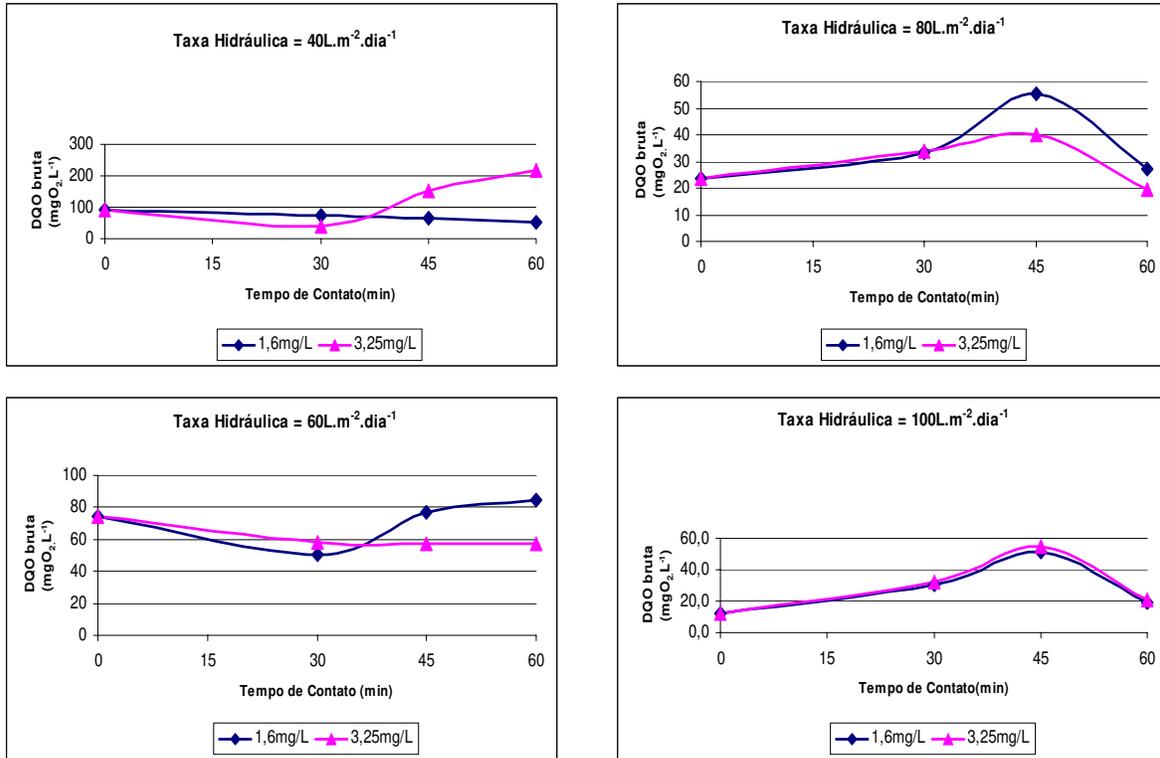


Figura 5.75 – Variação da DQO bruta para a vala 0,50 m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L⁻¹)

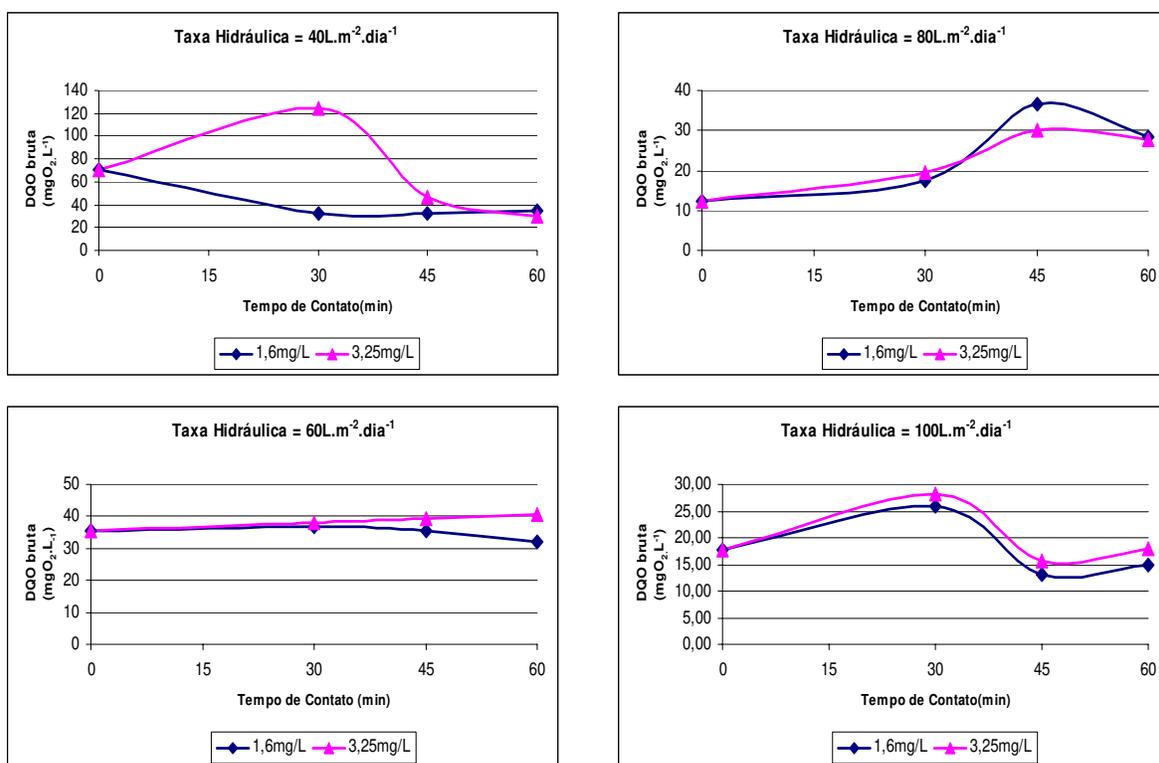


Figura 5.76 – Variação da DQO bruta para a vala 0,75 m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L⁻¹)

Através das figuras 5.74, 5.75 e 5.76 observou-se que a DQO bruta diminuiu com o aumento da taxa hidráulica. Os maiores valores alcançados de DQO aconteceram na taxa de $40 \text{ L m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ o que indica que as valas de filtração, neste período estiveram, em fase de estabilização da camada de areia. Ao longo do estudo e das taxas hidráulicas verificou-se a não colmatação da areia, seria necessário um maior período de avaliação para saber quanto tempo cada vala de filtração demoraria a sofrer a colmatação. Análises estatísticas foram realizadas para verificar a relação entre a DQO bruta e a dosagem de hipoclorito de cálcio aplicada e o tempo de contato estudado, veja a tabela 5.47.

Tabela 5.47 – Relação entre a DQO bruta e a dosagem de hipoclorito de cálcio aplicada e tempo de contato estudado.

Tratamento estudado	Agrupamento Tukey ⁽¹⁾	
		DQO bruta (mg O ₂ L ⁻¹)
Tempo de Contato (min)	0	A
	30	A
	45	A
	60	A
Dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L ⁻¹)	0	A
	1.6	A
	3.25	A

(1) Significa que os resultados foram agrupados através das letras em maiúsculo;

A partir da tabela 5.47 o que pode - se concluir é que nem a dosagem de hipoclorito de cálcio e nem o tempo de contato são fatores que influenciam a DQO bruta. A tabela 5.39 mostra a relação estatística entre a taxa hidráulica, dosagem de hipoclorito de cálcio, tempo de contato e a vala de filtração, e o que se pode concluir através dos valores é que somente as valas de filtração e a taxa hidráulica são fatores influenciáveis nesse caso.

5.2.10 Oxigênio dissolvido (OD)

Os valores alcançados pela variável oxigênio dissolvido (OD) para o efluente bruto, ou seja, para o afluente desta pesquisa variou entre 6,04 e 9,31 mg O₂ L⁻¹ e para a vala 0,25 o OD variou entre 6,26 e 9,20 mg O₂ L⁻¹, para a vala 0,50 o OD variou entre 6,11 e 9,06 mg O₂ L⁻¹ e para a vala 0,75 o OD variou entre 6,04 e 9,55 mg O₂ L⁻¹. As figuras 5.77, 5.78 e 5.79 apresentam o oxigênio dissolvido para as valas 0,25, 0,50 e 0,75 m, respectivamente, com relação ao tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio em miligramas por litro.

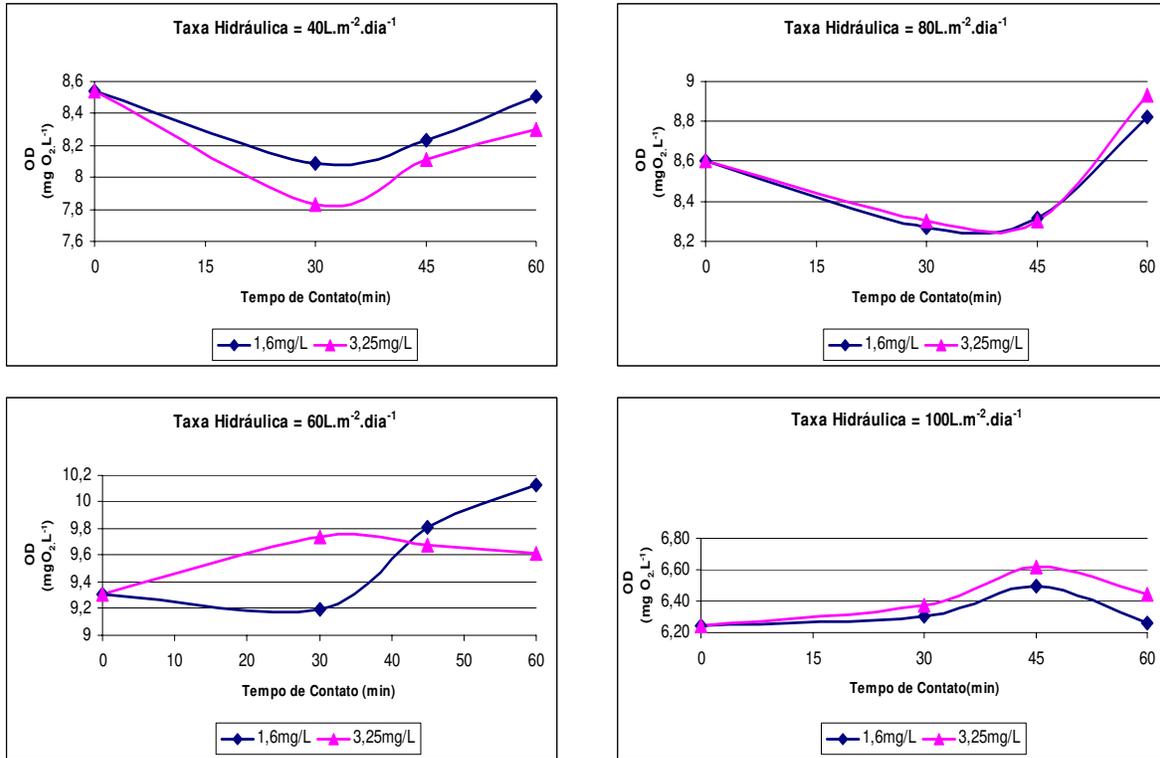


Figura 5.77 – OD para a vala 0,25 m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L⁻¹)

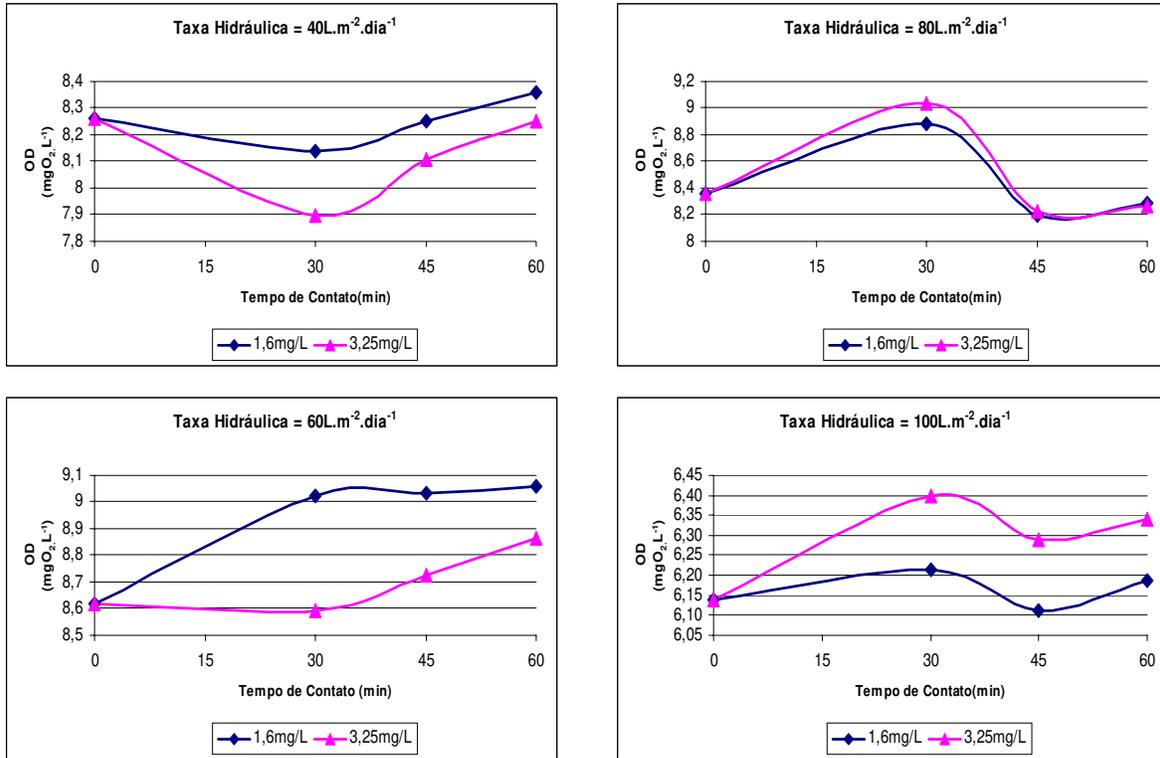


Figura 5.78 – OD para a vala 0,50 m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L⁻¹)

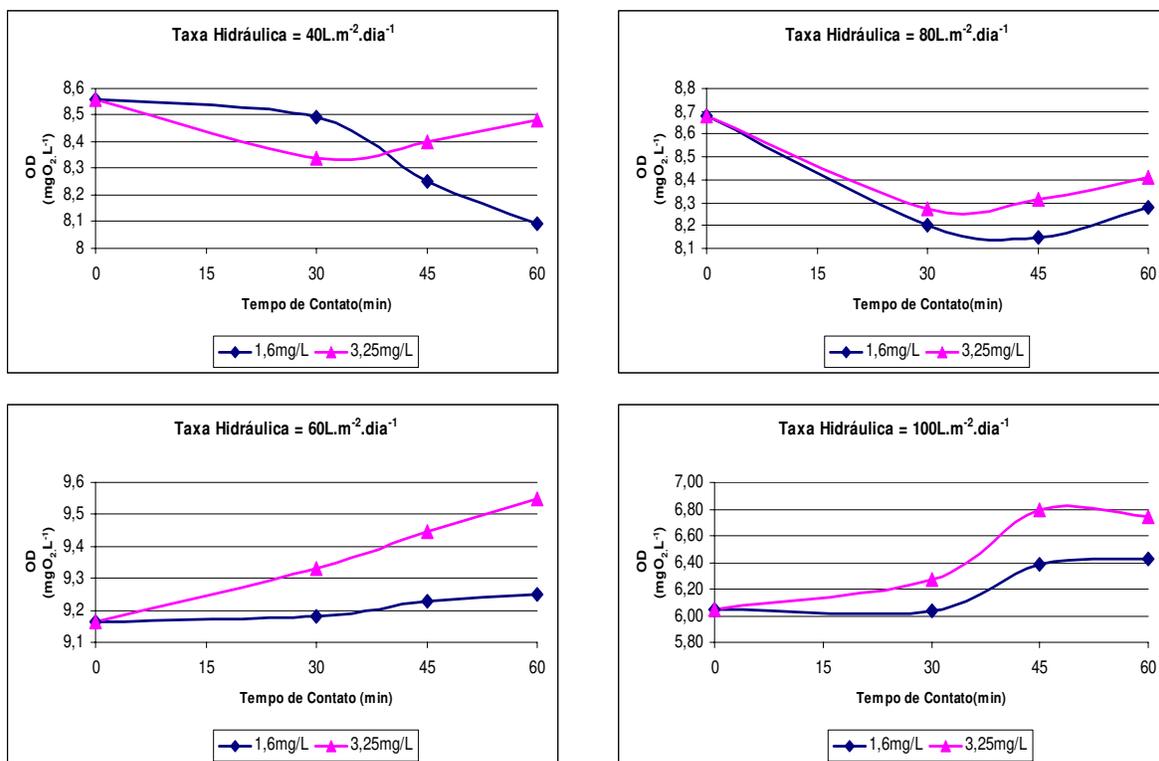


Figura 5.79 – OD para a vala 0,75 m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L⁻¹)

Através das figuras 5.77, 5.78 e 5.79 verificou-se que em todos os casos a CONAMA 357/05 para padrões de qualidade de água doce de classe 1 e 2 foi obedecida. As taxas hidráulicas têm um papel muito importante nesse caso, pois através de todos os resultados concluiu-se que quanto maior a taxa hidráulica menor a concentração de oxigênio dissolvido, isso devido a grande quantidade de matéria orgânica. Piores resultados foram obtidos na taxa hidráulica de 100 L m⁻² dia⁻¹. Este desempenho garantiu que neste parâmetro, o efluente gerado pelo sistema de valas de filtração e o efluente desinfetado poderia ter uma disposição final sem acarretar danos ao a ao corpo receptor. Análises estatísticas foram realizadas para se verificar a relação entre o oxigênio dissolvido e a dosagem de hipoclorito de cálcio aplicada e o tempo de contato estudado, veja a tabela 5.48.

Tabela 5.48 – Relação entre o oxigênio dissolvido e a dosagem de hipoclorito de cálcio aplicada e tempo de contato estudado.

Tratamento estudado	Agrupamento Tukey ⁽¹⁾	
		OD (mg O ₂ L ⁻¹)
Tempo de Contato (min)	0	A
	30	A
	45	A
	60	A
Dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L ⁻¹)	0	A
	1.6	A
	3.25	A

(1) Significa que os resultados foram agrupados através das letras em maiúsculo;

A partir da tabela 5.48 concluiu-se que nem o tempo de contato e nem a dosagem de hipoclorito de cálcio são fatores influenciáveis, ou seja, para a estatística, suas medias são iguais. Porém a partir da tabela 5.39 observou-se pela estatística que as valas de filtração e a taxa hidráulica são fatores que influenciam a variável oxigênio dissolvido.

5.2.11 Fósforo total

Os valores alcançados para o fósforo total para o efluente bruto, ou seja, para o afluente desta pesquisa variou entre 0,044 e 0,322 mg L⁻¹ e para a vala 0,25 o fósforo total variou entre 0,014 e 0,398 mg L⁻¹, para a vala 0,50 o fósforo total variou entre 0,018 e 0,121 mg L⁻¹ e para a vala 0,75 o fósforo total variou entre 0,013 e 1,192 mg L⁻¹. Por problemas operacionais, a taxa hidráulica de 40 L m⁻² dia⁻¹ não foi realizada esta análise. As figuras 5.80, 5.81 e 5.82 apresentam o fósforo total as valas 0,25, 0,50 e 0,75 m, respectivamente, com relação ao tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio em miligramas por litro.

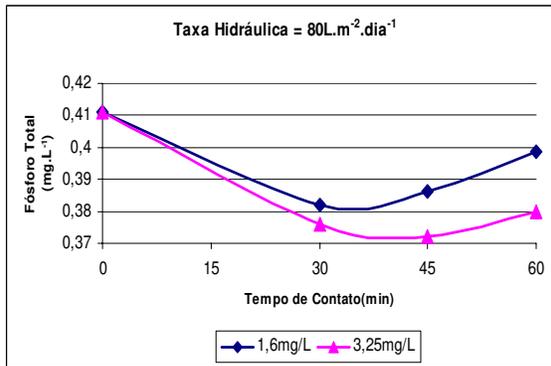
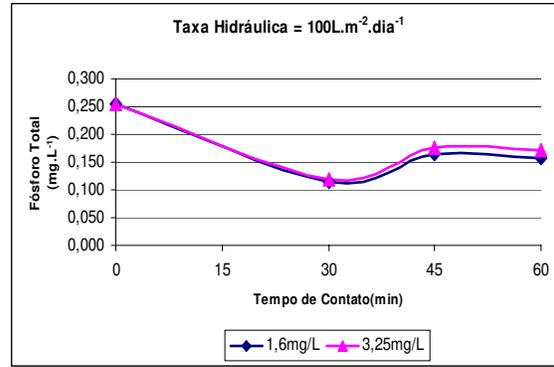
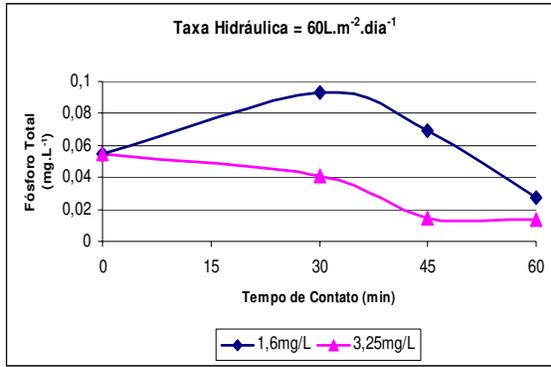


Figura 5.80 – Fósforo total para a vala 0,25 m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L⁻¹)

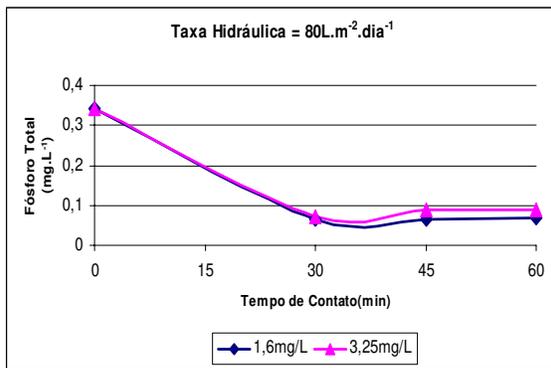
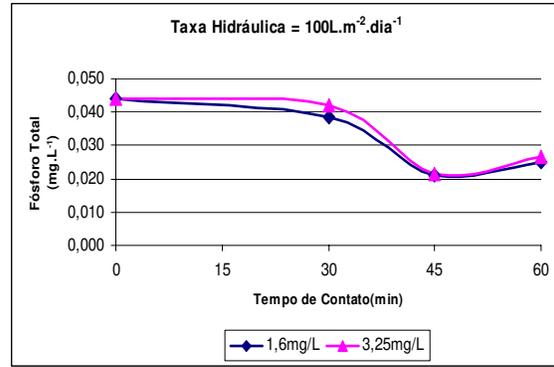
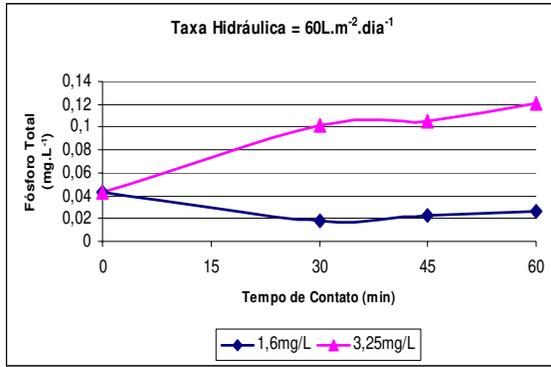


Figura 5.81 – Fósforo total para a vala 0,50m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L⁻¹)

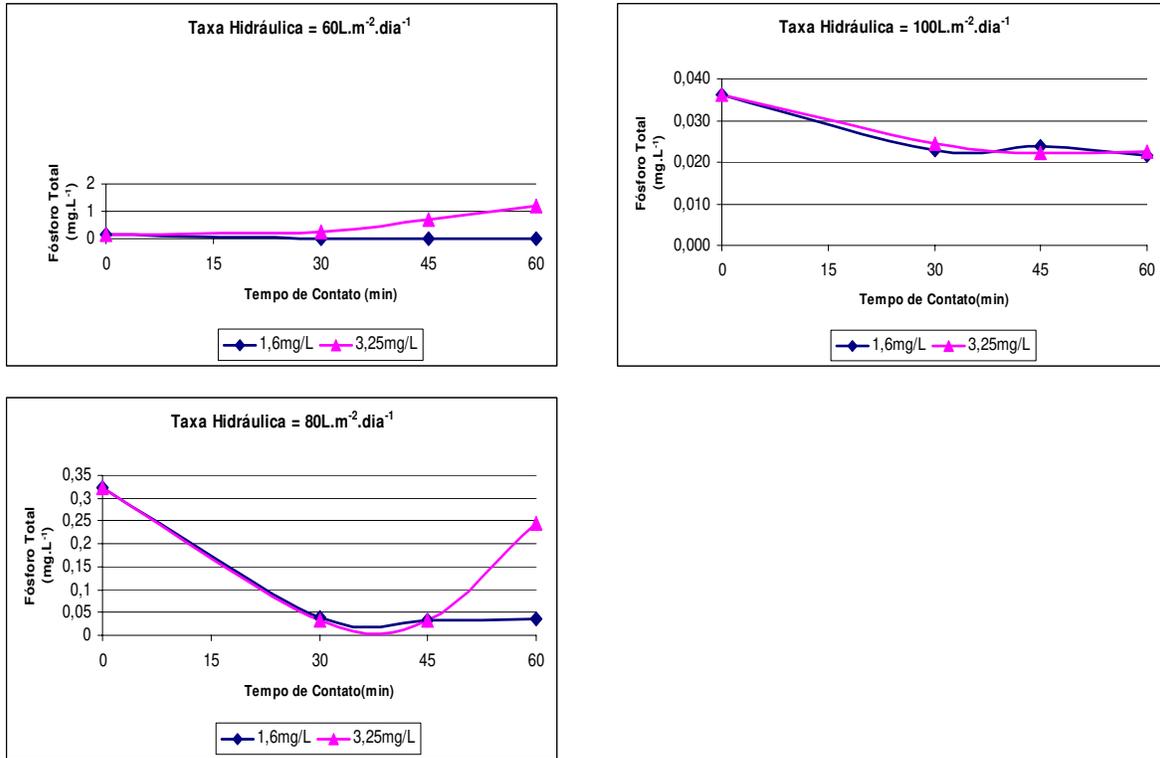


Figura 5.82 – Fósforo total para a vala 0,75m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L^{-1})

Através dos resultados obtidos verificou-se que os valores médios dos efluentes das valas de filtração antes e após a desinfecção não ultrapassaram $1,00 \text{ mg L}^{-1}$ de fósforo total, com exceção de um efluente desinfetado na vala 0,75. Em geral, verifica-se que para as valas com maior altura na camada de areia maior é a eficiência de remoção do fósforo.

De acordo com Souza Júnior (2006) este desempenho era esperado, pois, as valas continham uma parede de acrílico e notou a formação de colônia de microrganismos em toda a camada e profundidade da areia, que possivelmente acabou por consumir uma maior quantidade de fósforo em seu metabolismo, impedindo sua saída conjuntamente com o efluente. E também estas valas possuíam um maior volume de areia e brita conseqüentemente uma grande possibilidade de conter maiores concentrações de ferro, alumínio e cálcio, que associados ao fósforo formam compostos insolúveis, facilmente retidos da areia.

A concentração máxima permitida para a variável fósforo total em corpos receptores de classe 2 de acordo com a CONAMA 357/05 é: ambiente lântico é 0,030 mg L⁻¹ de P e para ambiente intermediário é de 0,050 mg L⁻¹, ou seja, em alguns casos o efluente desinfetado atingiu a norma estabelecida. Análises estatísticas foram realizadas e a tabela 5.49 apresenta a relação entre o fósforo total e a dosagem de hipoclorito de cálcio aplicada e tempo de contato estudado.

Tabela 5.49 – Relação entre o fósforo total e a dosagem de hipoclorito de cálcio aplicada e tempo de contato estudado.

Tratamento estudado		Agrupamento Tukey ⁽¹⁾
		Fósforo Total (mg L⁻¹)
Tempo de Contato (min)	0	A
	30	A
	45	A
	60	A
Dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L ⁻¹)	0	A
	1.6	A
	3.25	A

(1) Significa que os resultados foram agrupados através das letras em maiúsculo;

A partir da tabela 5.49 que o tempo de contato e a dosagem de hipoclorito de cálcio quem em média possuem resultados iguais, ou seja, não são fatores influenciáveis.

5.2.12 Sólidos totais, fixos e voláteis

Os sólidos totais é a soma dos sólidos totais fixos e sólidos totais voláteis, estes serão tratados separadamente e suas análises estatísticas serão realizadas conjuntamente no final.

5.2.12.1 Sólidos totais

Os valores alcançados para os sólidos totais no efluente bruto, ou seja, para o afluente desta pesquisa variou de 265,50 a 7700,0 mg L⁻¹, para a vala 0,25 o ST variou entre 292 e 1019 mg L⁻¹, para a vala 0,50 o ST variou entre 369 e 6463 mg L⁻¹ e para a vala 0,75 o ST variou entre 490 e 1649 mg L⁻¹. As figuras 5.83, 5.84 e 5.85 apresentam os sólidos totais para as valas 0,25, 0,50 e 0,75 m, respectivamente, com relação ao tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio em miligramas por litro.

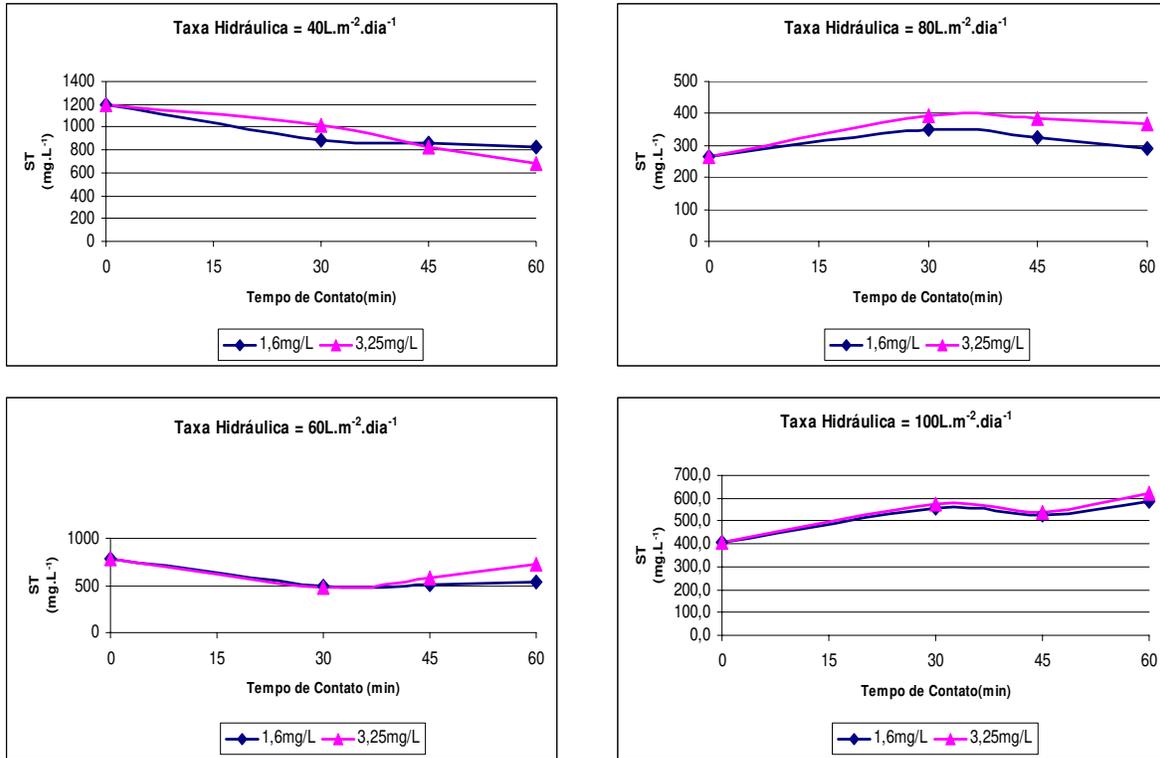


Figura 5.83 – Sólidos totais para a vala 0,25 m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L⁻¹)

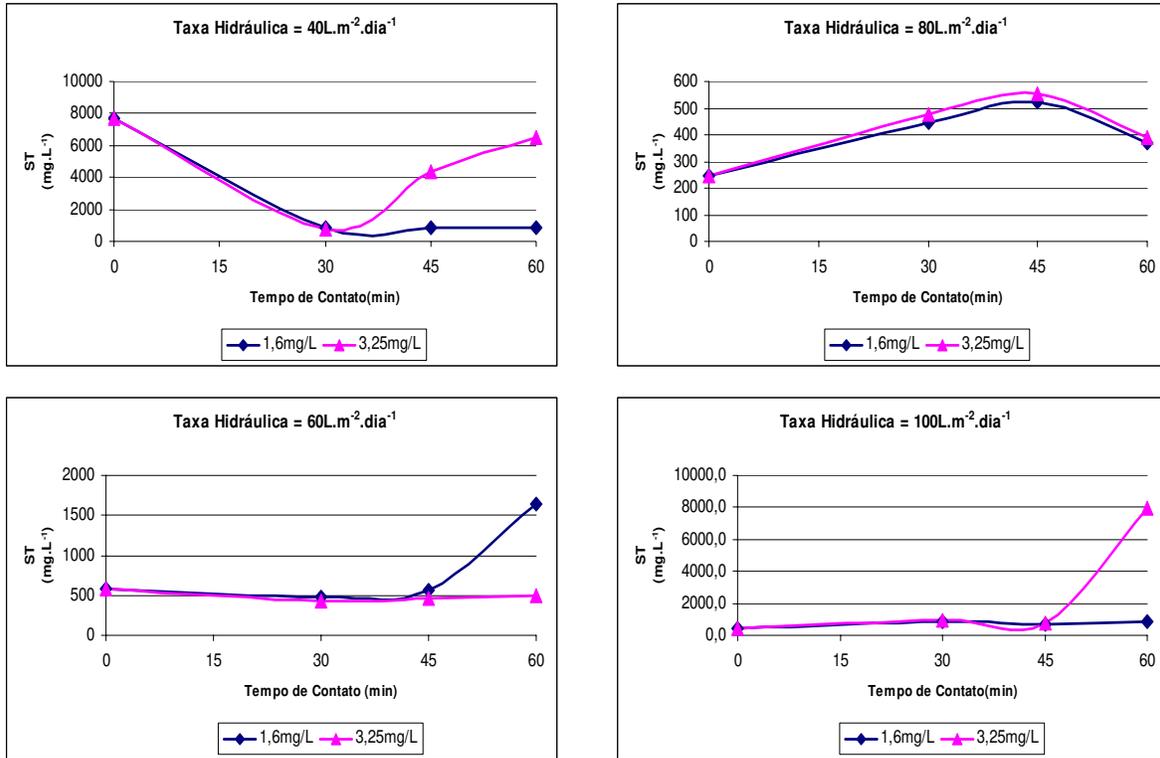


Figura 5.84 – Sólidos totais para a vala 0,50 m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L⁻¹)

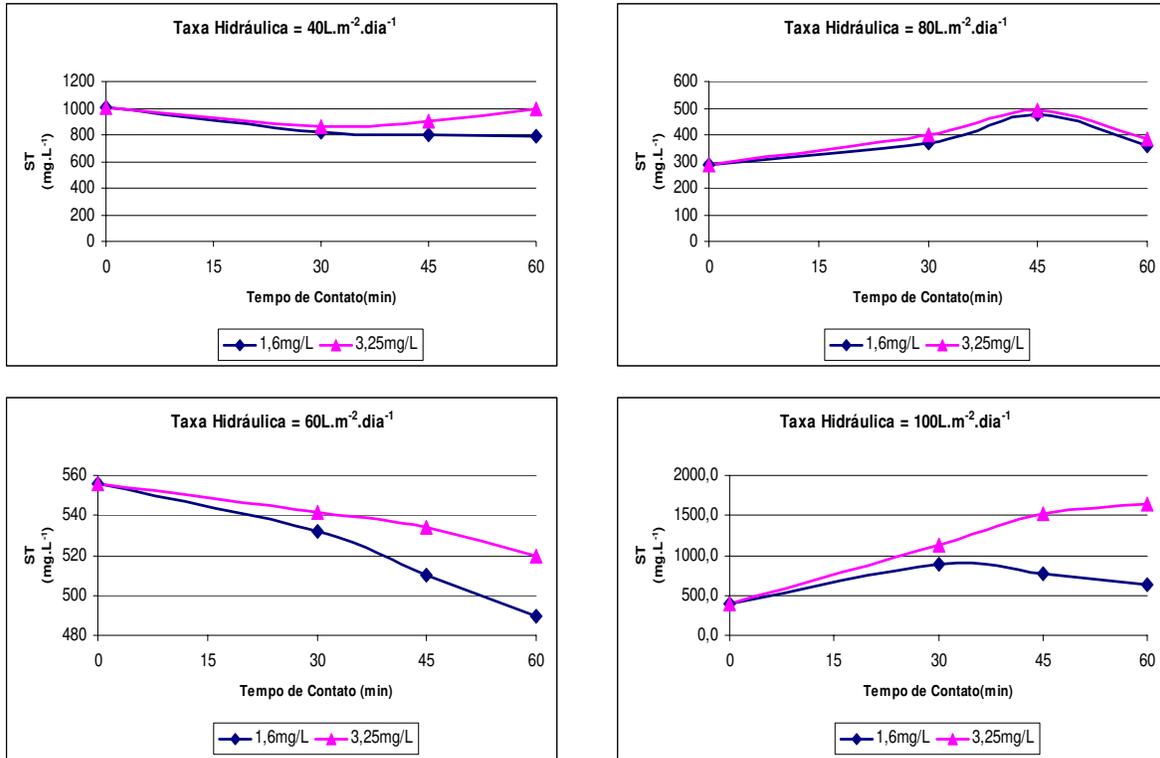


Figura 5.85 – Sólidos totais para a vala 0,75 m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L^{-1})

Através das figuras 5.83, 5.84 e 5.85 verificou-se que maiores resultados de sólidos totais foram alcançados na taxa hidráulica de $40 \text{ L m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. Análises estatísticas foram realizadas e serão discutidas no final deste item.

5.2.12.2 Sólidos totais fixos

Os valores alcançados para os sólidos totais fixos no efluente bruto, ou seja, para o afluente desta pesquisa variou de 161,1 a 578,0 mg L⁻¹ e para a vala 0,25 o STF variou entre 140,0 e 524,2 mg L⁻¹, para a vala 0,50 o STF variou entre 120,7 e 510,8 mg L⁻¹ e para a vala 0,75 o STF variou entre 49,4 e 830,3 mg L⁻¹. As figuras 5.86, 5.87 e 5.88 apresentam os sólidos totais fixos para as valas 0,25, 0,50 e 0,75 m, respectivamente, com relação ao tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio em miligramas por litro.

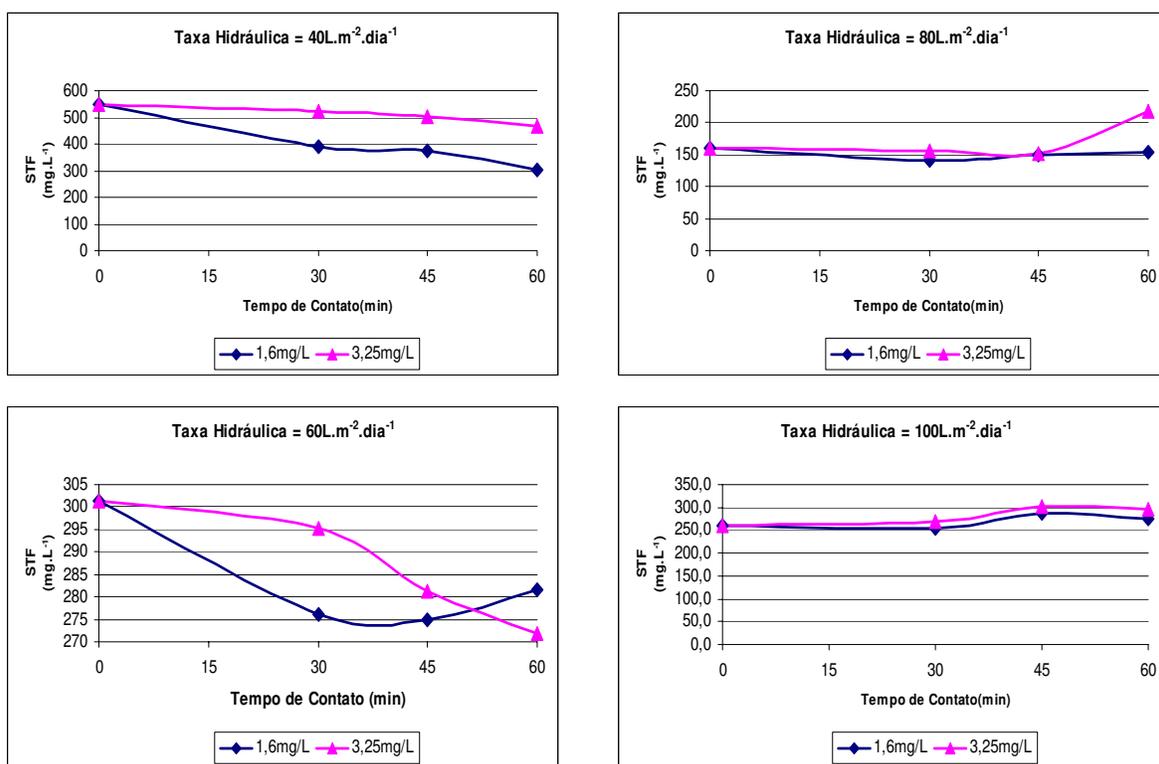


Figura 5.86 – Sólidos totais fixos para a vala 0,25 m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L⁻¹)

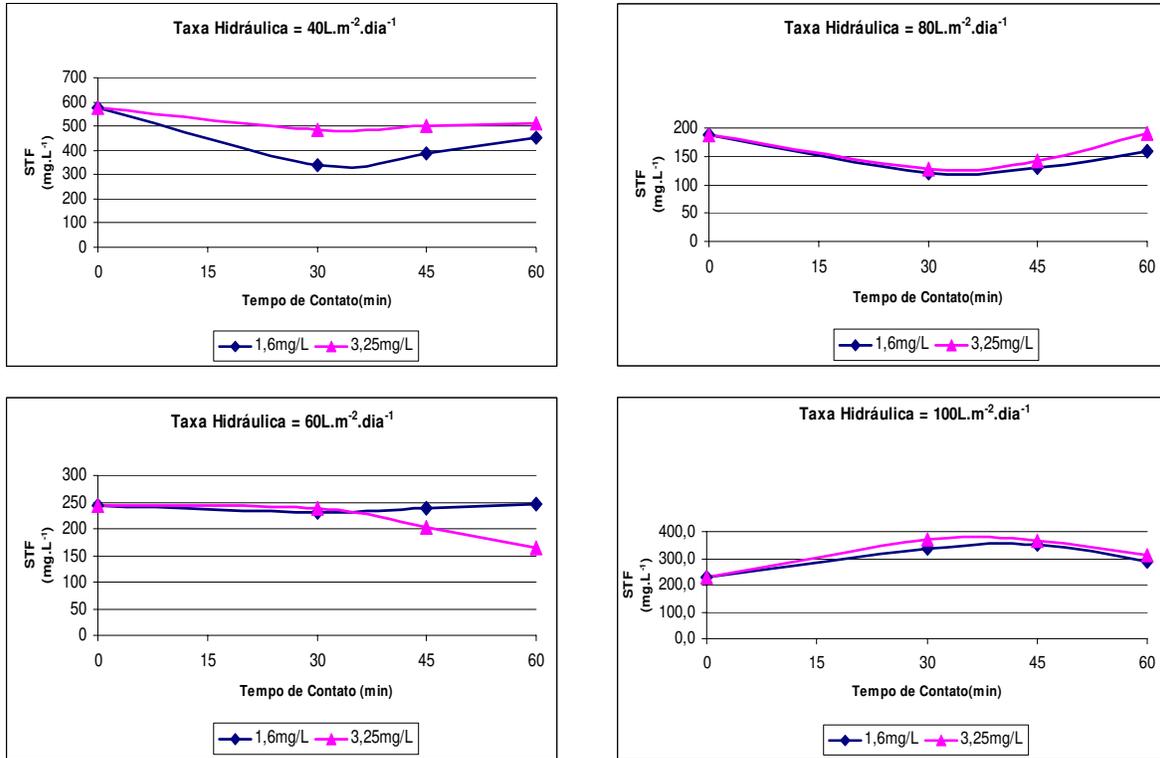


Figura 5.87 – Sólidos totais fixos para a vala 0,50 m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L⁻¹)

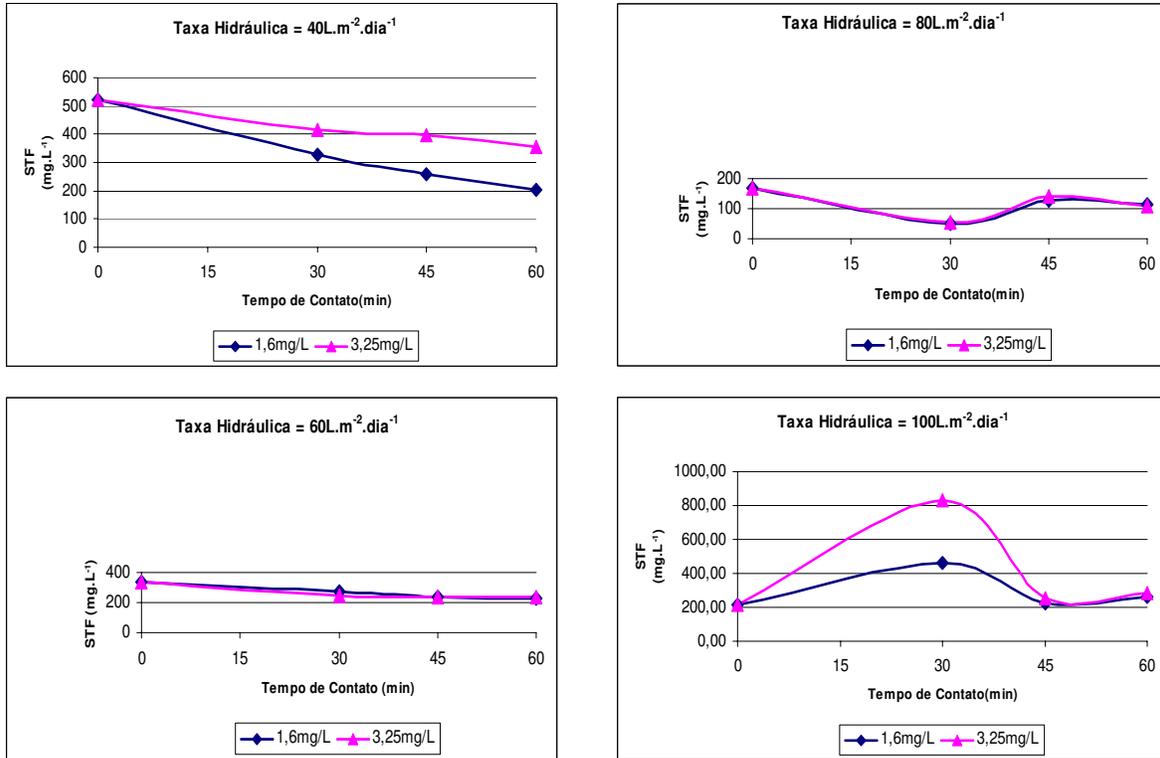


Figura 5.88 – Sólidos totais fixos para a vala 0,75 m versus Tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L⁻¹)

Verifica-se que por meio das médias obtidas e das figuras 5.86, 5.87 e 5.88 que as dosagens de hipoclorito de cálcio e os tempos de contato seguiram uma tendência, em geral, a dosagem de 3,25 mg L⁻¹ de hipoclorito de cálcio teve uma maior quantidade de sólidos suspensos fixos. Análises estatísticas serão realizadas ao final deste item.

5.2.12.3 Sólidos totais voláteis

Os valores alcançados para os sólidos totais voláteis no efluente bruto, ou seja, para o afluente desta pesquisa variou de 104,4 a 7122 mg L⁻¹ e para a vala 0,25 o STV variou entre 152,0 e 494,8 mg L⁻¹, para a vala 0,50 o STV variou entre 248,3 e 5952,2 mg L⁻¹ e para a vala 0,75 o STV variou entre 440,6 e 818,7 mg L⁻¹. As figuras 5.89, 5.90 e 5.91 apresentam os sólidos totais voláteis para as valas 0,25, 0,50 e 0,75 m, respectivamente, com relação ao tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio em miligramas por litro.

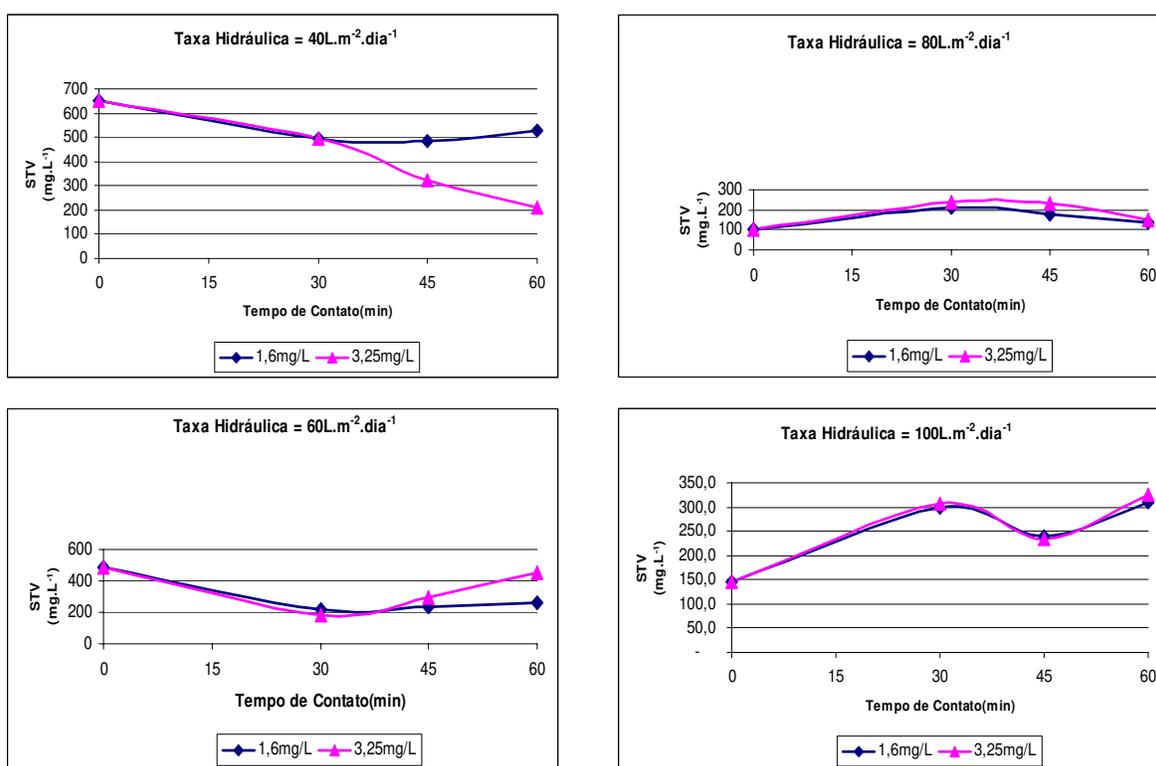


Figura 5.89 – Sólidos totais voláteis para a vala 0,25 m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L⁻¹)

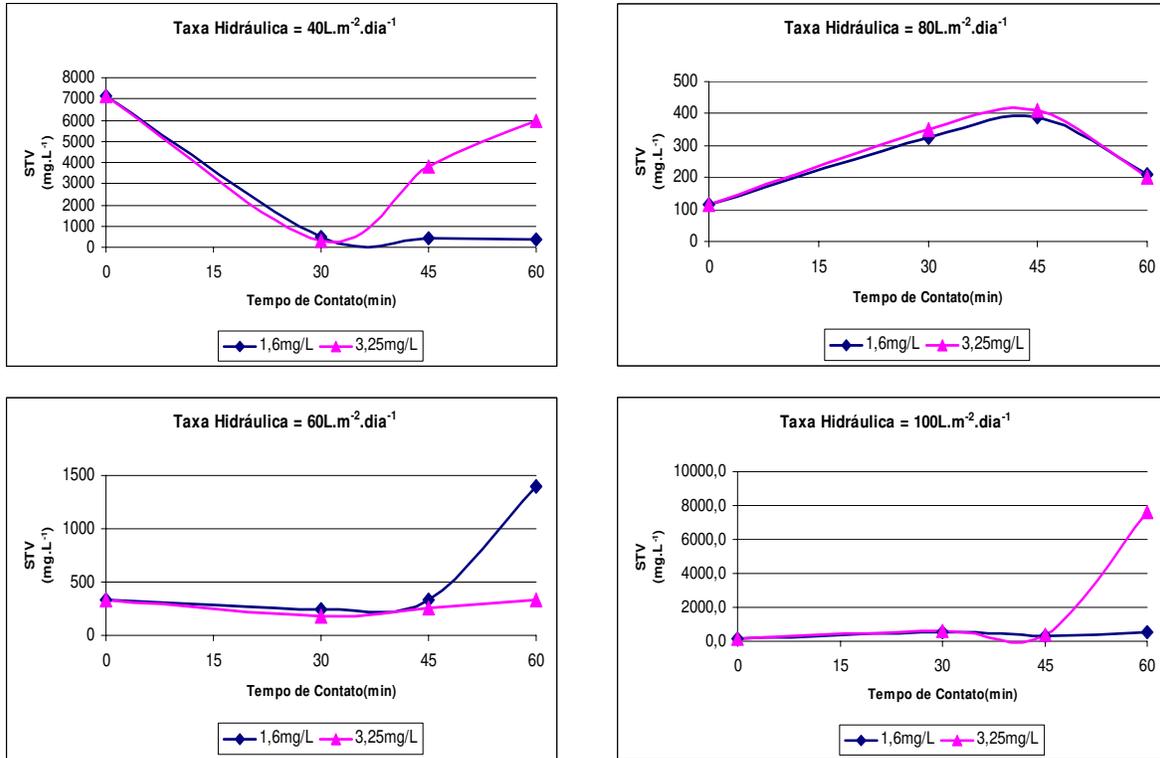


Figura 5.90 – Sólidos totais voláteis para a vala 0,50 m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L⁻¹)

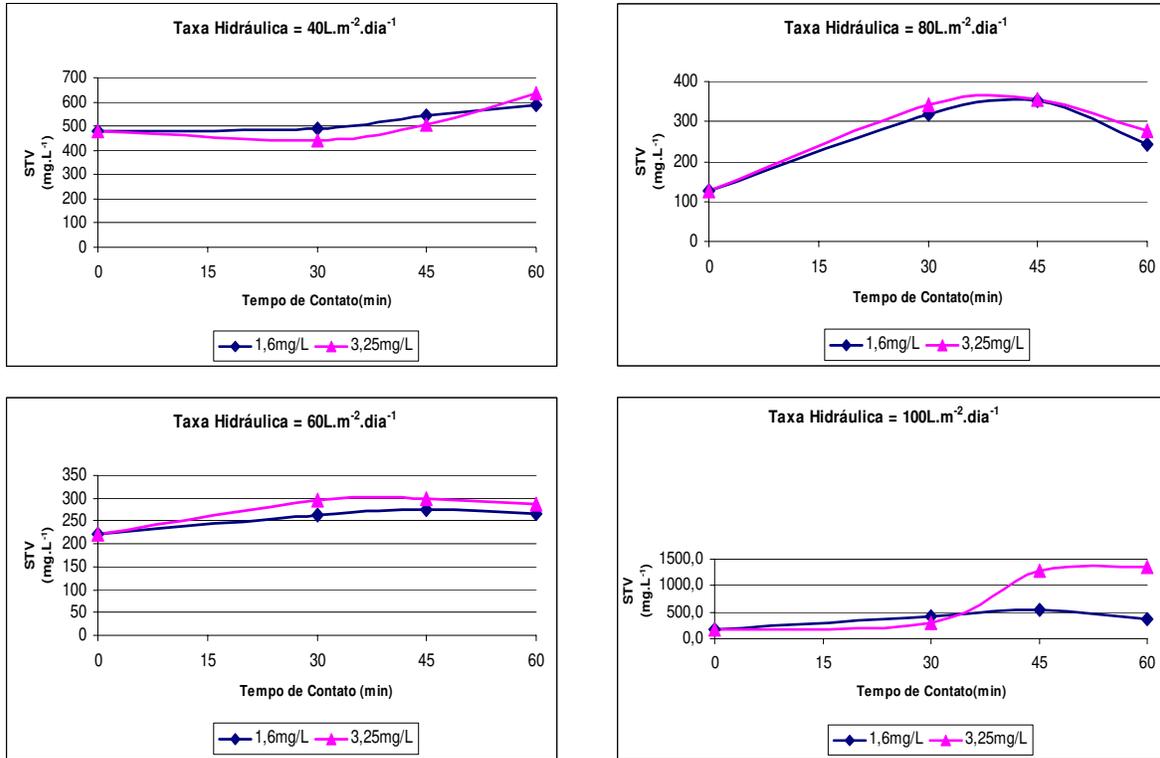


Figura 5.91 – Sólidos totais voláteis para a vala 0,75 m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L^{-1})

Analisando as figuras 5.89, 5.90 e 5.91 verifica-se que em geral a quantidade de sólidos totais voláteis foi maior no afluente das valas do que no efluente bruto. A taxa de $40 \text{ L m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ foi a que apresentou a maior quantidade de sólidos totais voláteis. Análises estatísticas foram realizadas e a tabela 5.50 apresenta a relação entre as variáveis: sólidos totais, sólidos totais fixos e sólidos totais voláteis e a dosagem de hipoclorito de cálcio aplicada e tempo de contato estudado.

Tabela 5.50 – Relação entre as variáveis: sólidos totais, sólidos totais fixos e sólidos totais voláteis e a dosagem de hipoclorito de cálcio aplicada e tempo de contato estudado.

		Agrupamento Tukey ⁽¹⁾		
Tratamento estudado		ST (mg L ⁻¹)	STF (mg L ⁻¹)	STV (mg L ⁻¹)
Tempo de Contato (min)	0	A	A	A
	30	A	A	A
	45	A	A	A
	60	A	A	A
Dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L ⁻¹)	0	A	A	A
	1.6	A	A	A
	3.25	A	A	A

(1) Significa que os resultados foram agrupados através das letras em maiúsculo;

O que pode-se notar é que tanto o tempo de contato em minutos quanto a dosagem de hipoclorito de cálcio em miligramas por litro não são fatores influenciáveis nesta análise, pois, em média, seus resultados são iguais. Ao analisar a tabela 5.39 verifica-se que para os sólidos totais tanto as valas de filtração quanto as taxas hidráulicas são fatores dependentes, para os sólidos totais fixos o único tratamento dependente é a taxa hidráulica e para os sólidos totais voláteis as valas de filtração é o tratamento interferente.

5.2.13 Sólidos em suspensão

Os sólidos em suspensão são divididos em: sólidos suspensos totais, sólidos suspensos voláteis e sólidos suspensos fixos. Eles serão tratados separadamente e no final deste isso será realizada análise estatística.

5.2.13.1 Sólidos suspensos totais

Sólidos suspensos totais é a soma dos sólidos suspensos fixos e sólidos suspensos voláteis. Os valores alcançados para os sólidos suspensos totais no efluente bruto, ou seja, para o afluente desta pesquisa variou de 5,6 a 40,0 mg L⁻¹, para a vala 0,25 o SST variou entre 0 e 409,0 mg L⁻¹, para a vala 0,50 o SST variou entre 0 e 420,7 mg L⁻¹ e para a vala 0,75 o SST variou entre 0 e 493,1 mg L⁻¹. As figuras 5.92, 5.93 e 5.94 apresentam os sólidos suspensos totais para as valas 0,25, 0,50 e 0,75 m, respectivamente, com relação ao tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio em miligramas por litro.

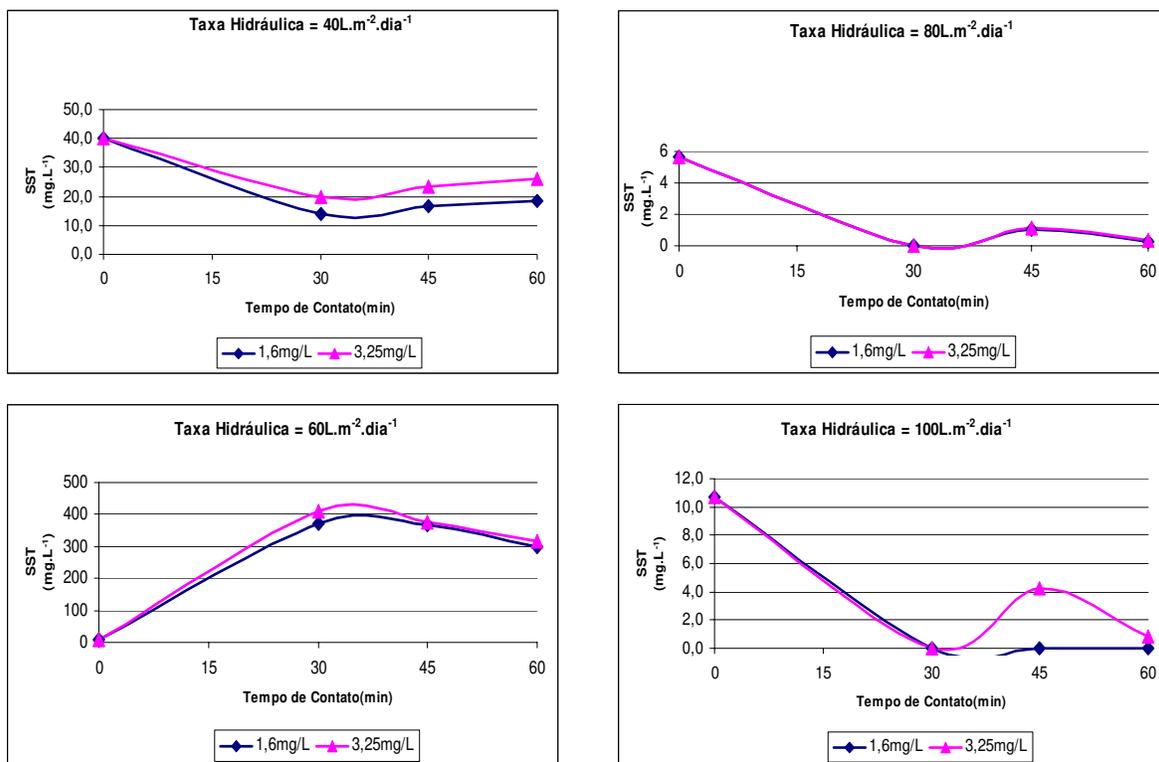


Figura 5.92 – Sólidos suspensos totais para a vala 0,25 m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L⁻¹)

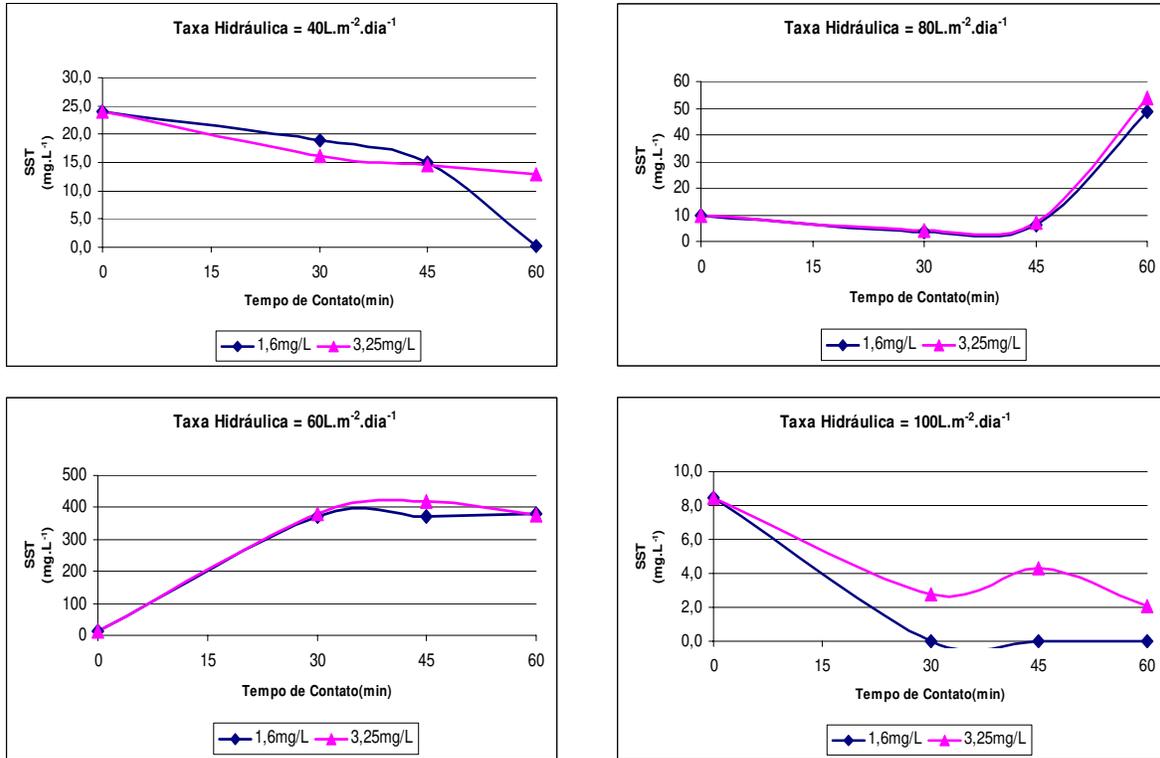


Figura 5.93 – Sólidos suspensos totais para a vala 0,50 m versus Tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L⁻¹)

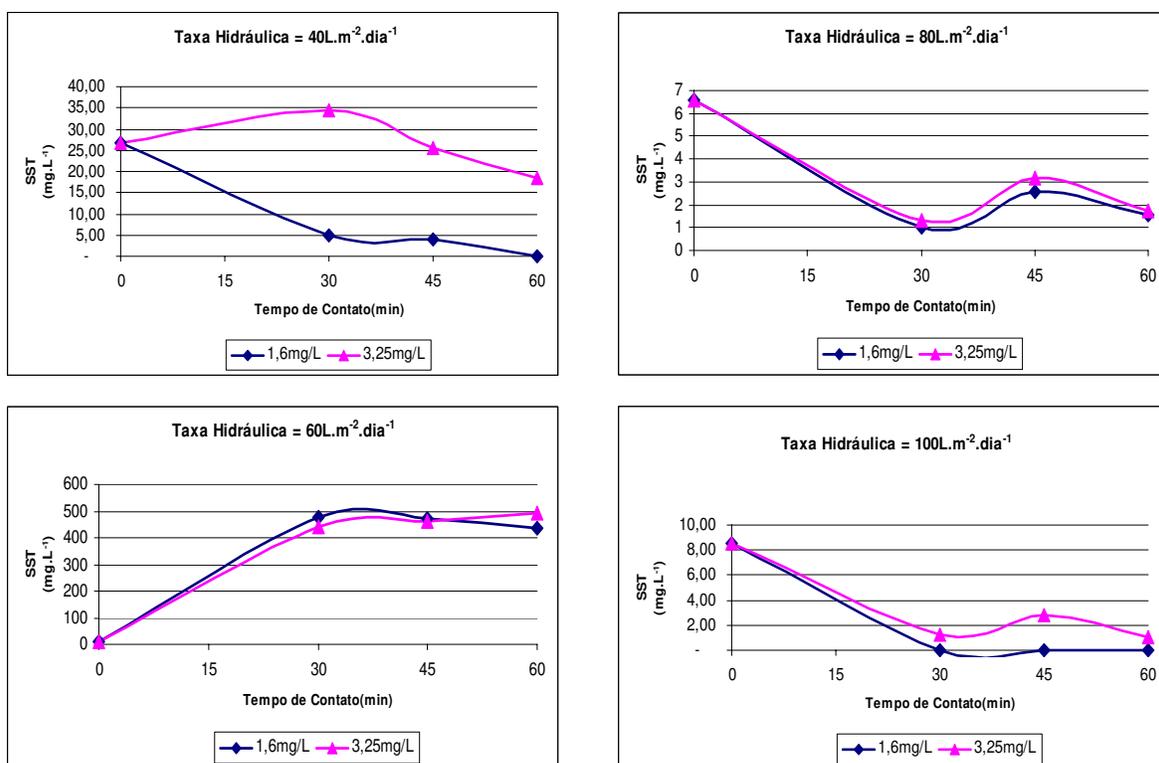


Figura 5.94 – Sólidos suspensos totais para a vala 0,75 m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L^{-1})

O que se percebe através da análise das figuras 5.92, 5.93 e 5.94 é que para a dosagem de hipoclorito de cálcio de $3,25 \text{ mg L}^{-1}$ a quantidade de sólidos suspensos totais é maior, porém, análises estatísticas serão realizadas para verificar a relação entre dosagem de hipoclorito de cálcio, tempo de contato, valas de filtração e taxas hidráulicas.

5.2.13.2 Sólidos suspensos fixos

Os valores alcançados para os sólidos suspensos fixos no efluente bruto, ou seja, para o afluente desta pesquisa variou de 0 a 20,1 mg L⁻¹, para a vala 0,25 o SSF variou entre 0 e 278,8 mg L⁻¹, para a vala 0,50 o SSF variou entre 0 e 316,7 mg L⁻¹ e para a vala 0,75 o SSF variou entre 0 e 351,6 mg L⁻¹. As figuras 5.95, 5.96 e 5.97 apresentam os sólidos suspensos fixos para as valas 0,25, 0,50 e 0,75 m, respectivamente, com relação ao tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio em miligramas por litro.

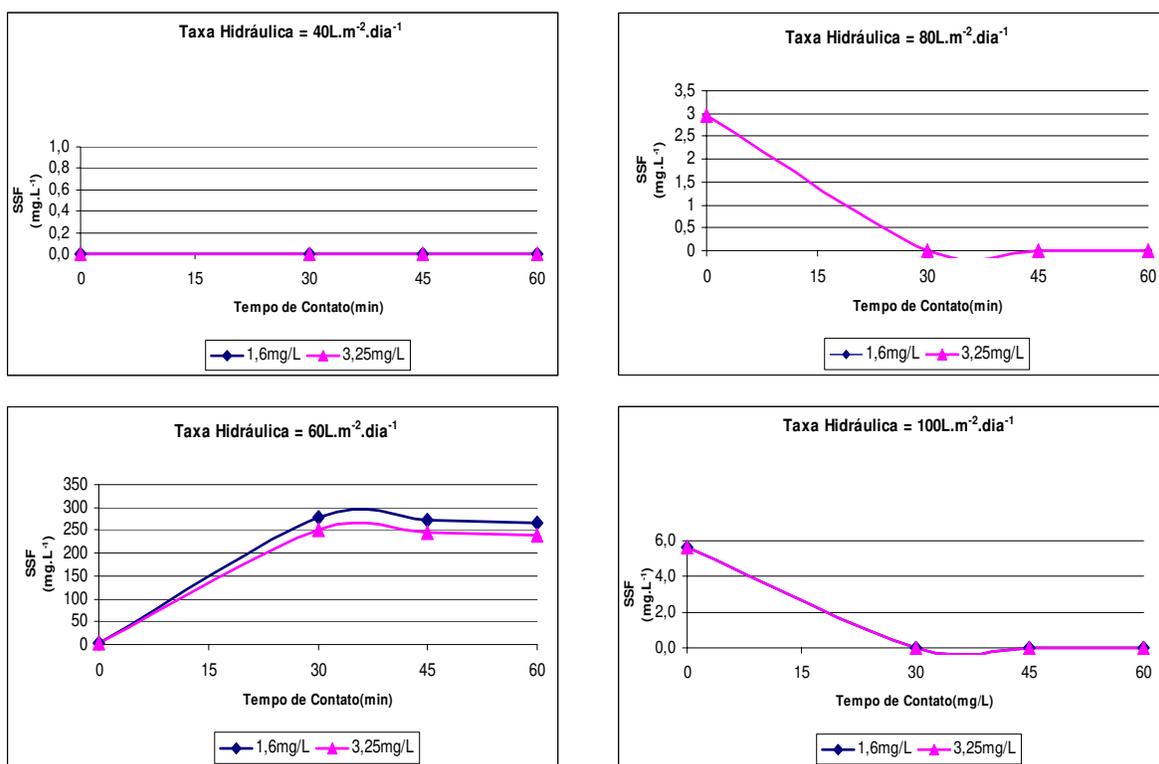


Figura 5.95 – Sólidos suspensos fixos para a vala 0,25 m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L⁻¹)

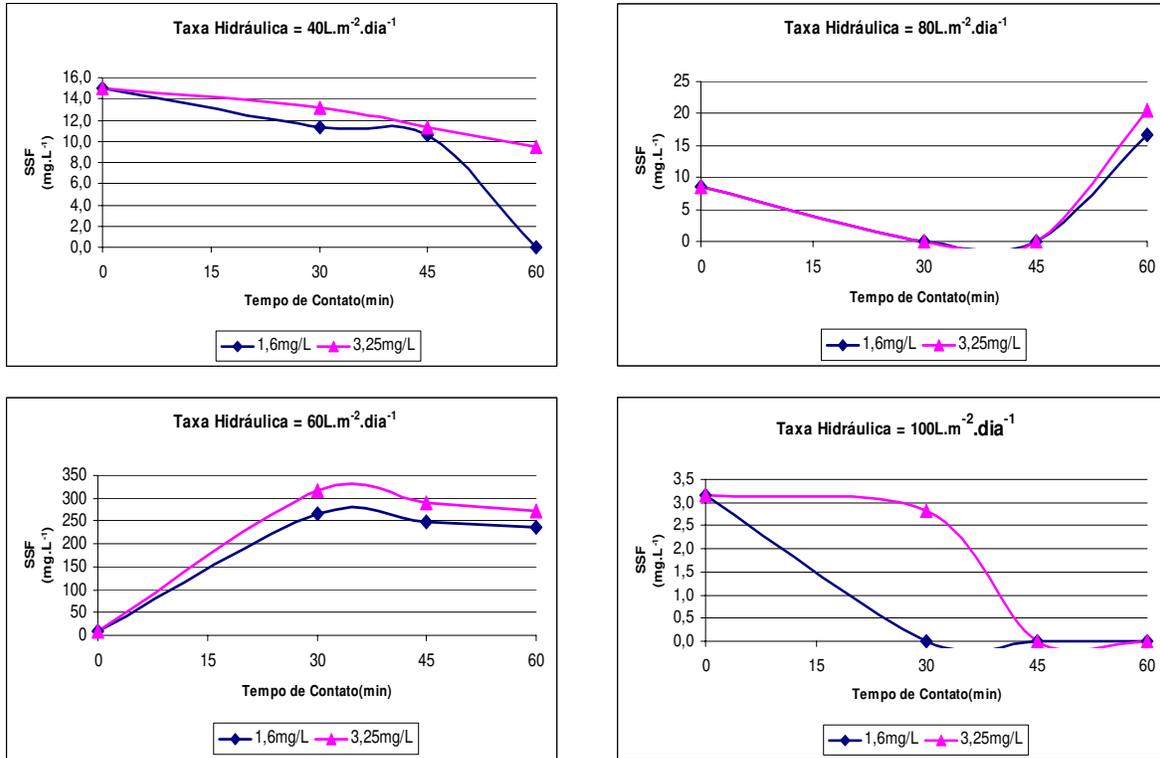


Figura 5.96 – Sólidos suspensos fixos para a vala 0,50 m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L⁻¹)

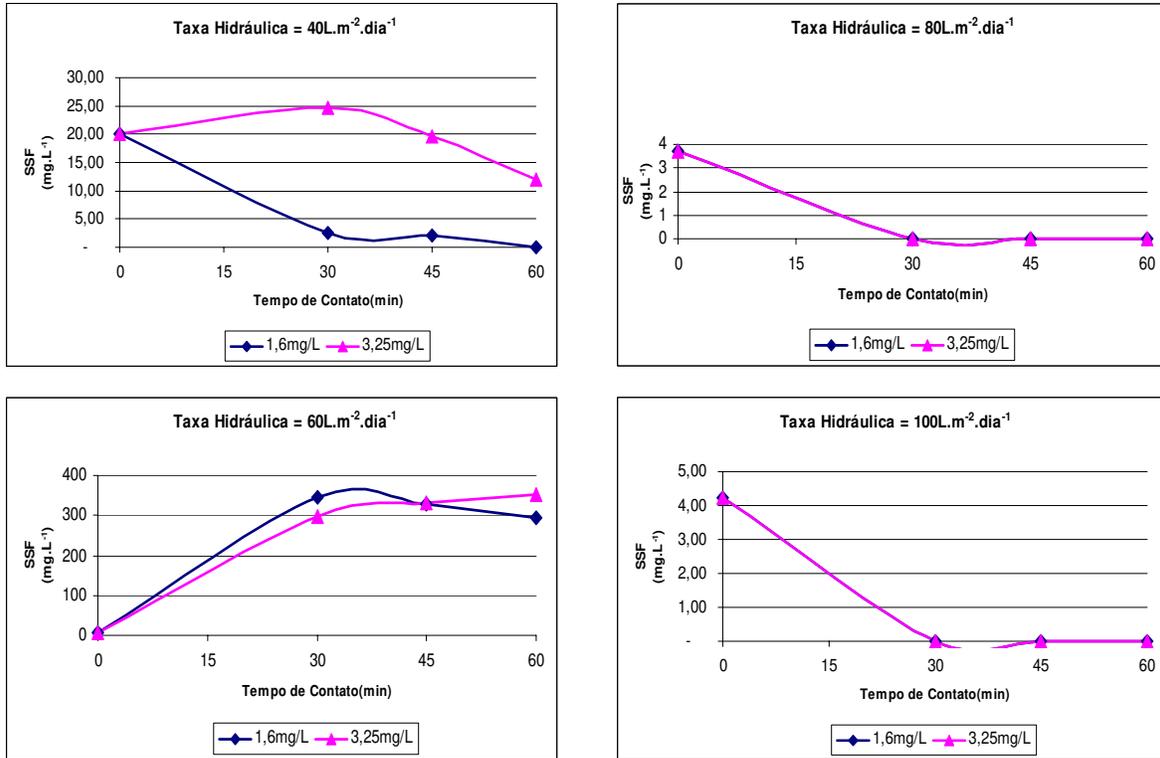


Figura 5.97 – Sólidos suspensos fixos para a vala 0,75 m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L^{-1})

O que pode ser observado é que com o aumento das taxas hidráulicas há um aumento na quantidade de sólidos suspensos fixos.

5.2.13.3 Sólidos suspensos voláteis

Os valores alcançados para os sólidos suspensos voláteis no efluente bruto, ou seja, para o afluente desta pesquisa variou de 5,6 a 19,9 mg L⁻¹, para a vala 0,25 o SSV variou entre 0 e 130,2 mg L⁻¹, para a vala 0,50 o SSV variou entre 0 e 104,0 mg L⁻¹ e para a vala 0,75 o SSV variou entre 0 e 141,5 mg L⁻¹. As figuras 5.98, 5.99 e 5.100 apresentam os sólidos suspensos voláteis para as valas 0,25, 0,50 e 0,75 m, respectivamente, com relação ao tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio em miligramas por litro.

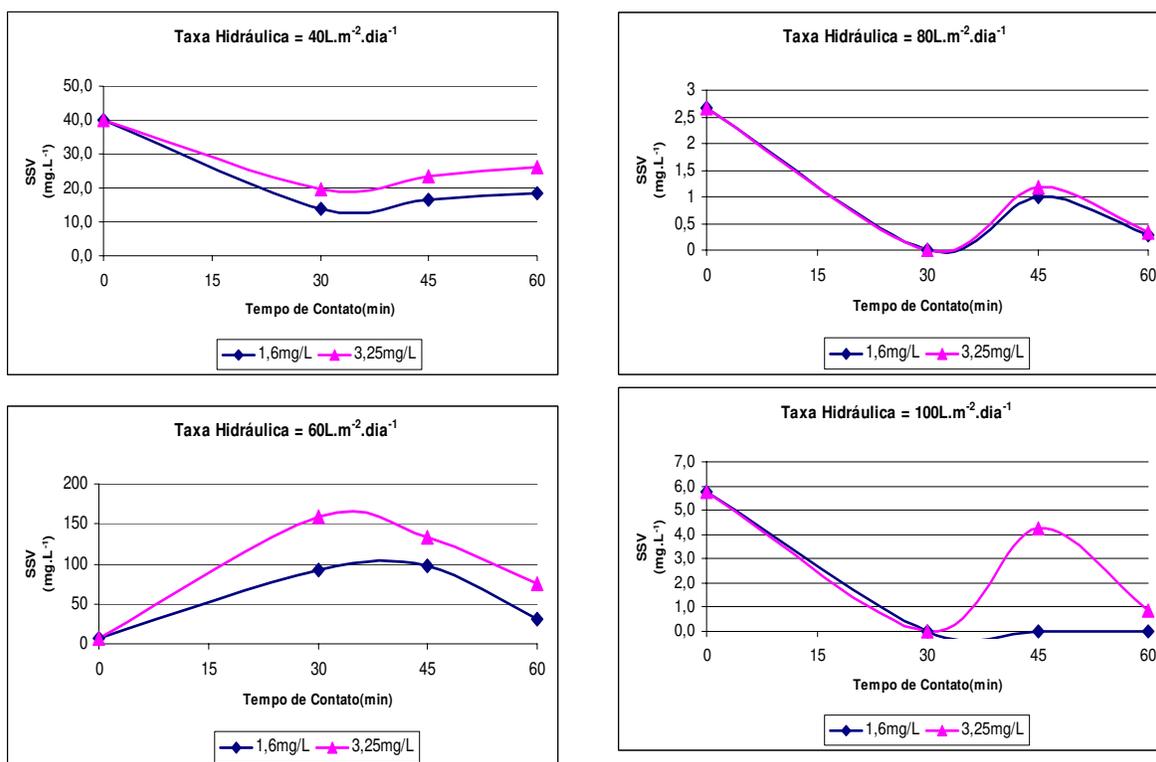


Figura 5.98 – Sólidos suspensos voláteis para a vala 0,25 m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L⁻¹)

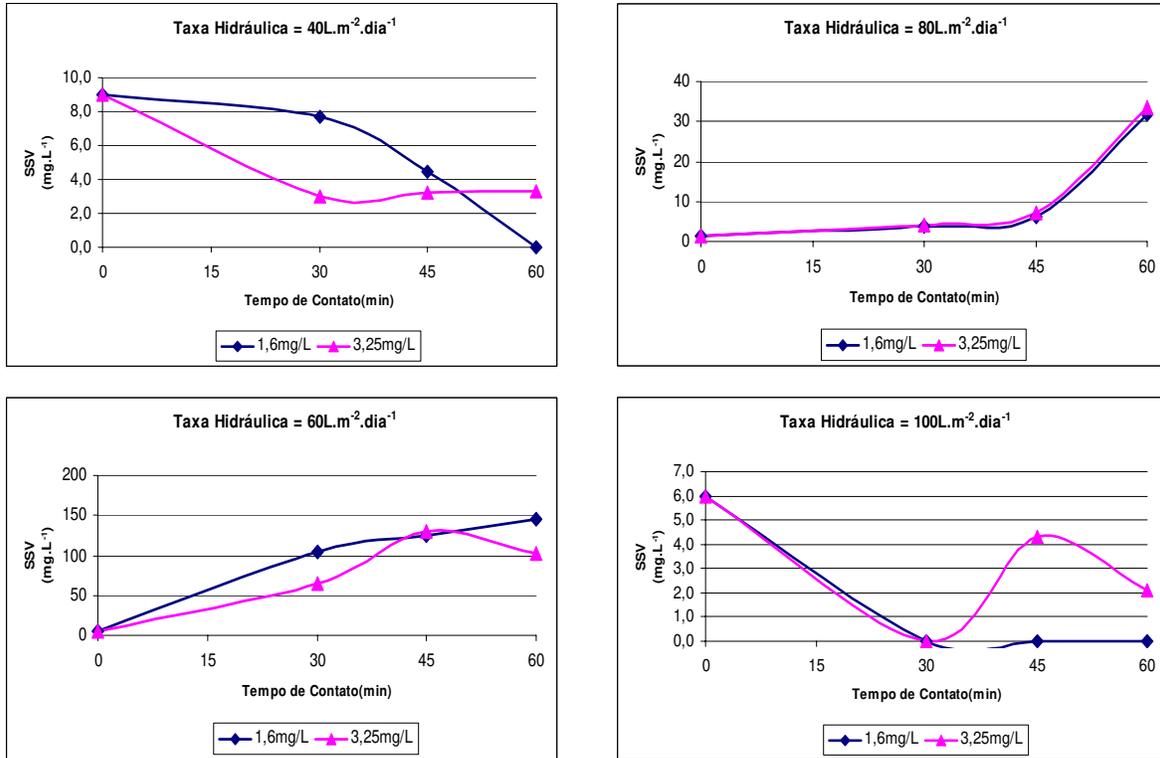


Figura 5.99 – Sólidos suspensos voláteis para a vala 0,50 m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L⁻¹)

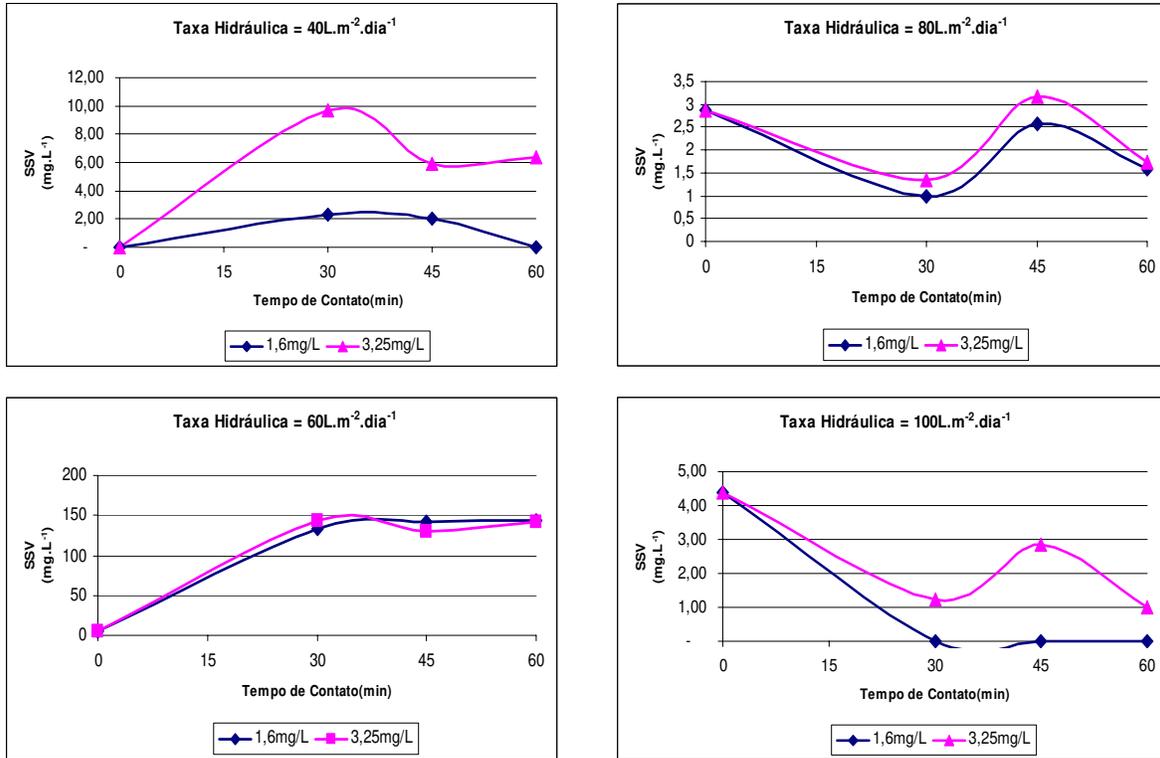


Figura 5.100 – Sólidos suspensos voláteis para a vala 0,75 m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L^{-1}).

Análises estatísticas foram realizadas e a tabela 5.51 mostra a relação entre as variáveis: sólidos suspensos totais, sólidos suspensos fixos e sólidos suspensos voláteis e a dosagem de hipoclorito de cálcio aplicada e tempo de contato estudado.

Tabela 5.51 – Relação entre as variáveis: sólidos suspensos totais, sólidos suspensos fixos e sólidos suspensos voláteis e a dosagem de hipoclorito de cálcio aplicada e tempo de contato estudado.

		Agrupamento Tukey ⁽¹⁾		
Tratamento estudado		SST (mg L ⁻¹)	SSF (mg L ⁻¹)	SSV (mg L ⁻¹)
Tempo de Contato (min)	0	A	B	B
	30	A	A	A
	45	A	A	A
	60	A	A	A
Dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L ⁻¹)	0	A	B	B
	1.6	A	A	A
	3.25	A	A	A

(1) Significa que os resultados foram agrupados através das letras em maiúsculo;

A partir da tabela 5.51 verificou-se que para a variável sólidos suspensos totais o tempo de contato e a dosagem de hipoclorito de cálcio não são fatores influenciáveis, ou seja, seus resultados em média, pela estatística são considerados iguais. Para as variáveis sólidos suspensos fixos e voláteis o tempo de contato e a dosagem de hipoclorito de cálcio são dependentes, ou seja, seus resultados não são iguais, portanto pode-se considerar que essas duas variáveis são dependentes destes tratamentos.

5.2.14 Coliformes - *E. coli* e totais

Essa variável, como já dito anteriormente na seção 1 deste capítulo, é a mais importante no sentido de se saber se a desinfecção foi realmente eficaz e se a dosagem aplicada atingiu os valores recomendados pela CONAMA 357/05 e pela OMS (1989), que diz que para padrões de lançamento em rios de classe 2 quantidade de *E. coli* não deve ultrapassar 1000 organismos por cada 100 mililitros de amostra, este também é um padrão para reúso em culturas agrícolas.

5.2.14.1 *E.coli*

As bactérias do grupo coliformes são divididas em: coliformes termotolerantes e totais. Dentre as bactérias do grupo termotolerantes se encontra a *E. coli*. Os valores alcançados para o efluente bruto, ou seja, para aquele que não sofreu a desinfecção variou entre $1,3 \cdot 10^3$ a $3,7 \cdot 10^5$ NMP 100 mL^{-1} , para a vala 0,25 os valores alcançados para *E. coli* variou entre $2 \cdot 10^1$ e $2,8 \cdot 10^3$ NMP 100 mL^{-1} , para a vala 0,50 foi entre $2,0 \cdot 10^1$ e $1,6 \cdot 10^4$ NMP 100 mL^{-1} e para a vala 0,75 foi de $2,0 \cdot 10^1$ e $5,8 \cdot 10^1$ NMP 100 mL^{-1} . As figuras 5.101, 5.102 e 5.103 apresentam o logaritmo da concentração de *E. coli* em número mais provável por 100 mililitros para as valas 0,25, 0,50 e 0,75 m, respectivamente, com relação ao tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio em miligramas por litro.

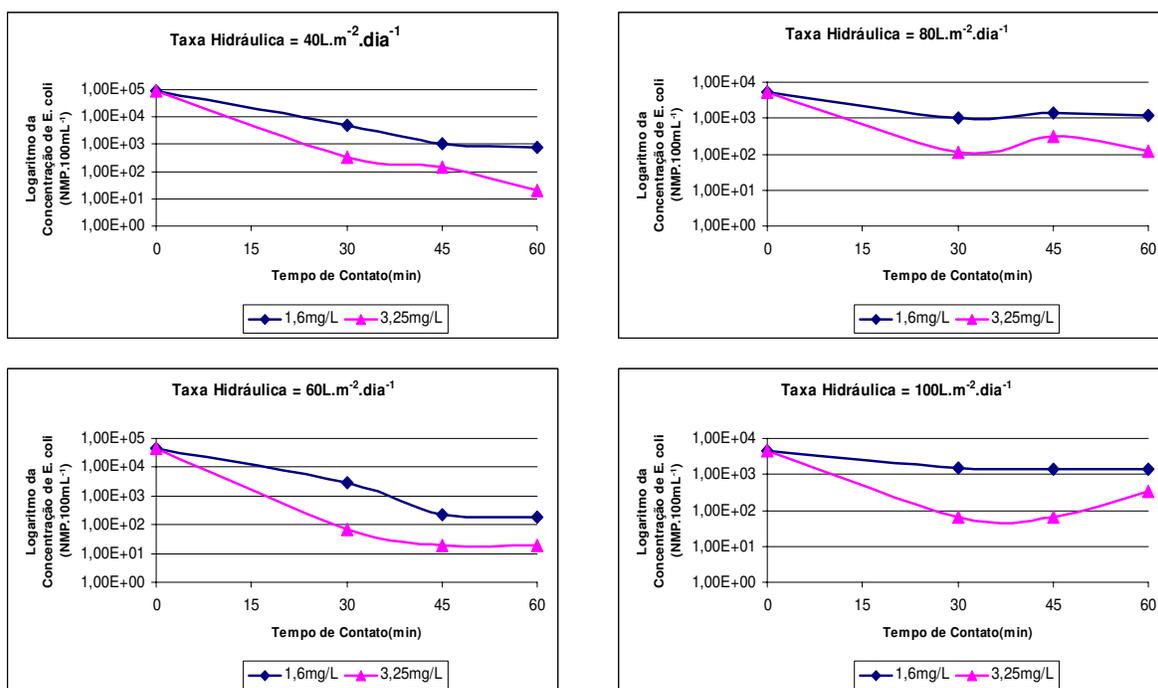


Figura 5.101 – Logaritmo da concentração de *E. coli* para a vala 0,25 m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L^{-1}).

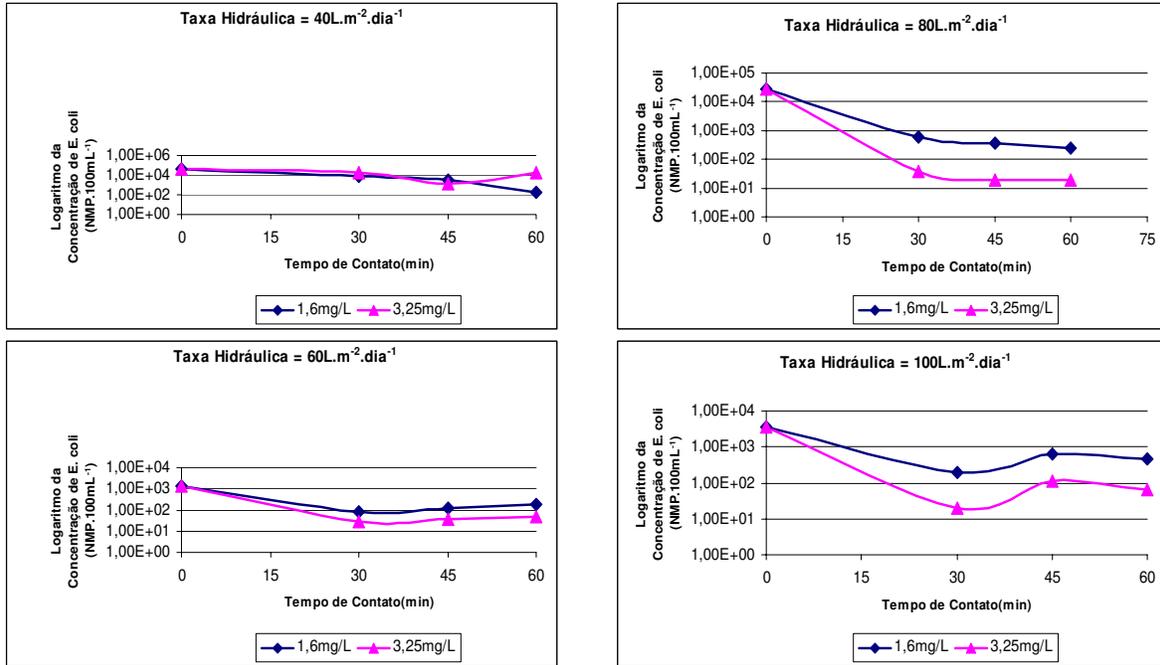


Figura 5.102 – Logaritmo da concentração de *E. coli* para a vala 0,50 m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L⁻¹)

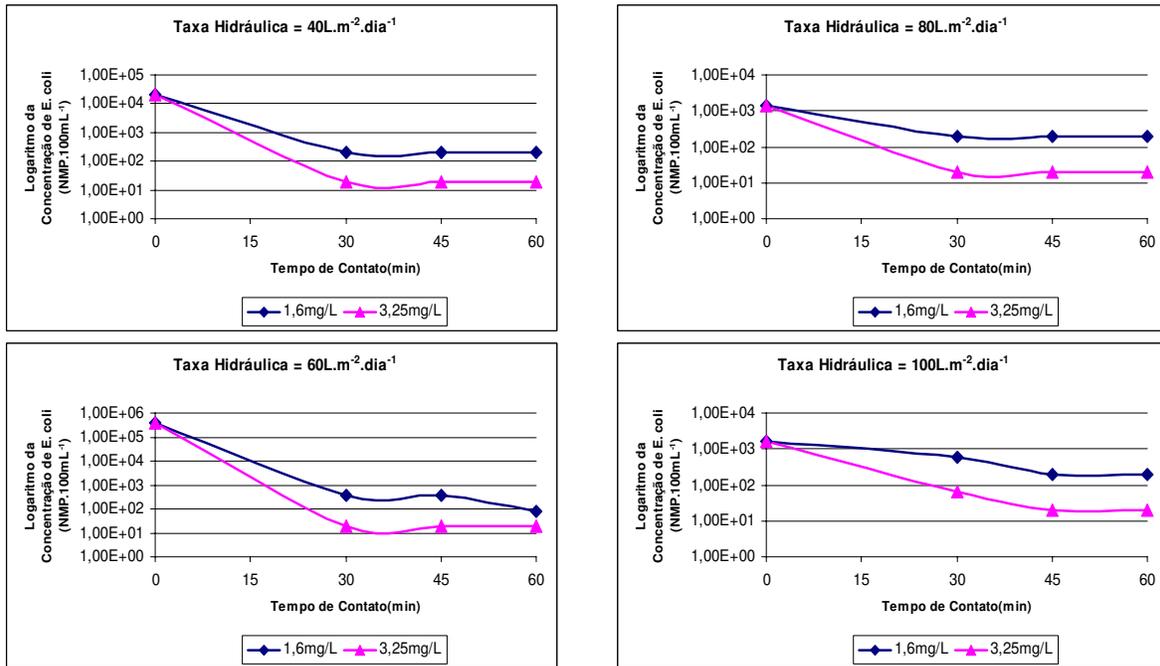


Figura 5.103 – Logaritmo da concentração de *E. coli* para a vala 0,75 m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L⁻¹).

Verifica-se através das figuras 5.101, 5.102 e 5.103 que apenas as valas de filtração não são suficientes para atingir e obedecer às normas estabelecidas pela CONAMA 357/05 e pela OMS (1989). Ao analisar as figuras conclui-se que em alguns casos a dosagem de $1,6 \text{ mg L}^{-1}$ de hipoclorito de cálcio é suficiente para atingir a norma, porém em alguns casos dosagens maiores como $3,25 \text{ mg L}^{-1}$ são necessárias. Análises estatísticas serão realizadas para a verificação destes dados.

5.2.14.2 Coliformes totais

Os valores alcançados para o efluente bruto, ou seja, para aquele que não sofreu a desinfecção, os valores alcançados foram entre $1,2 \cdot 10^4$ e $7,5 \cdot 10^5$ NMP 100 mL^{-1} , para a vala 0,25 variou entre $2,0 \cdot 10^1$ e $1,1 \cdot 10^4$ NMP 100 mL^{-1} , para a vala 0,50 foi entre $2,0 \cdot 10^1$ e $1,2 \cdot 10^5$ NMP 100 mL^{-1} e para a vala 0,75 foi de $2,0 \cdot 10^1$ e $1,0 \cdot 10^3$ NMP 100 mL^{-1} . As figuras 5.104, 5.105 e 5.106 apresentam o logaritmo da concentração de coliformes totais em número mais provável por 100 mililitros para as valas 0,25, 0,50 e 0,75 m, respectivamente, com relação ao tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio em miligramas por litro.

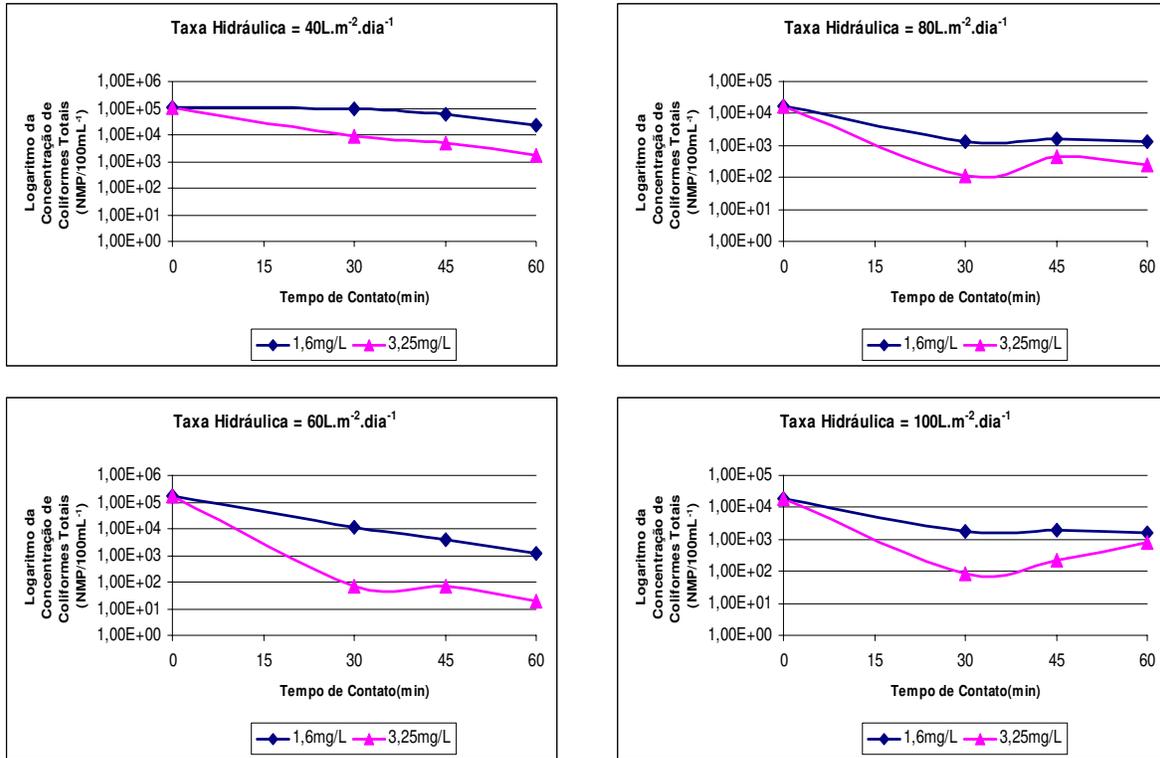


Figura 5.104 – Logaritmo da concentração de coliformes totais para a vala 0,25 m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L⁻¹)

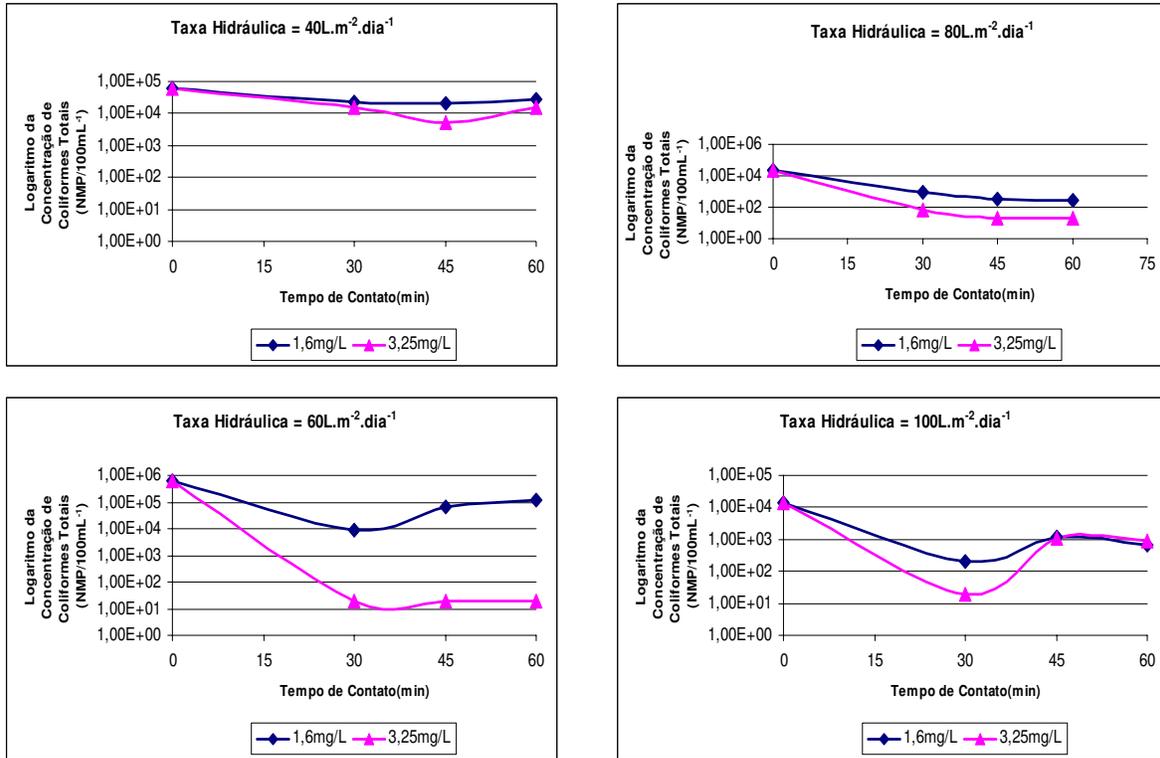


Figura 5.105 – Logaritmo da concentração de coliformes totais para a vala 0,50 m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L⁻¹)

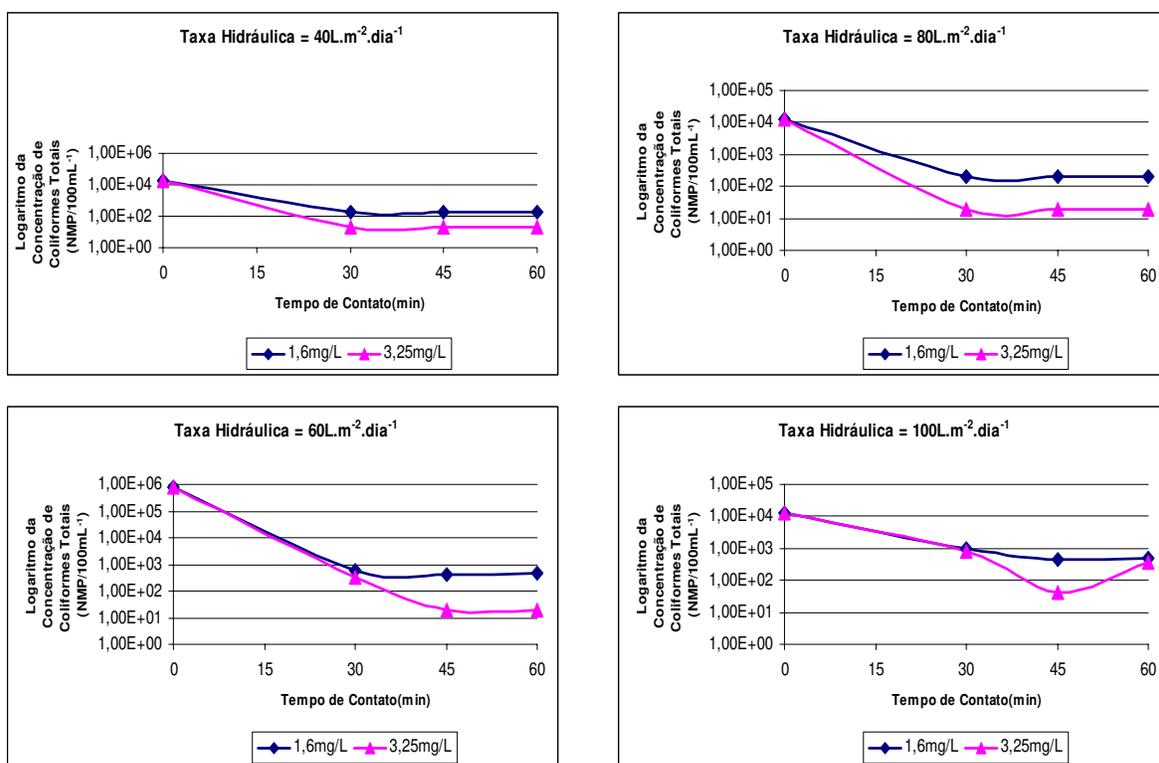


Figura 5.106 – Logaritmo da concentração de coliformes totais para a vala 0,75 m versus tempo de contato, variando-se a dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L⁻¹)

Ao analisar as figuras 5.104, 5.105 e 5.106 verifica-se que a quantidade de coliformes totais é muito superior a recomendada pela OMS (1989) e pela CONAMA 357/05 que estabelece uma quantidade de 5000 coliformes totais para cada 100 mL de amostra. Valores muito altos foram alcançados concluindo-se então que para um possível lançamento deste efluente em um corpo receptor de classe 2, por exemplo, este deveria sofrer um processo de desinfecção. Análises estatísticas foram realizadas para a verificação da relação que existe entre a variação do logaritmo da concentração de E. coli e coliformes totais e a dosagem de hipoclorito de cálcio aplicada e tempo de contato estudado, veja a tabela 5.52.

Tabela 5.52 – Relação entre a variação do logaritmo da concentração de *E. coli* e coliformes totais e a dosagem de hipoclorito de cálcio aplicada e tempo de contato estudado.

Agrupamento Tukey ⁽¹⁾		
Tratamento estudado	E. coli*****	Coliformes totais*****
Tempo de Contato (min)	0	B
	45	A
	30	A
	60	A
Dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L ⁻¹)	0	B
	1.6	A
	3.25	A

(1) Significa que os resultados foram agrupados através das letras em maiúsculo;***** NMP 100 mL⁻¹

O que pode concluir é que tanto para a variável *E. coli* e coliformes totais tanto o tempo de contato quanto a dosagem de hipoclorito de cálcio não possuem variação em seus resultados se for comparado apenas os tempos de contato da desinfecção e a adição do reagente hipoclorito de cálcio, ou seja, entre as dosagens 1,6 e 3,25 mg L⁻¹ não existe variação, porém, se for comparado a adição do reagente com o efluente bruto existe uma variação, que em média são diferentes. Isso acontece também com o tempo de contato.

Ao reportar-se a tabela 5.39, o que pode ser concluído é que as valas de filtração, propriamente dita, não é um tratamento dependente, ou seja, a altura da camada de areia não é fator de interferência nos resultados obtidos e a taxa hidráulica no caso de coliformes totais é um tratamento interferente. Ao verificar as figuras 5.104, 5.105 e 5.106 verificou-se que ao aumentar a taxa hidráulica diminui-se a quantidade de coliformes totais.

5.2.15 Helmintos e Protozoários

A análises de helmintos e protozoários aconteceu durante 9 semanas e o que se percebeu é que após passagem do efluente pelas valas de filtração todos os organismos eram retidos na areia. A análise desses organismos foram realizadas no esgoto bruto e do afluente da vala de filtração para se ter uma idéia de quais organismos eram encontrados no esgoto.

De acordo com Souza Júnior (2006) os organismos encontrados foram: *Cisto de Giardia sp*, *Cisto de Entamoeba coli*, *Larva de nematóide*, *Larva ancilostomatídeos*, *Ovos de nematóides*, *Ovos de Ascaris sp* e *Protozoário ciliado* essa especificação foi feita levando-se em consideração literatura especializada.

Ainda de acordo com Souza Júnior (2006) a análise dos efluentes das três valas de filtração somente foram encontrados microrganismos patogênicos em uma amostra, na vala 0,75 na taxa hidráulica $40 \text{ L m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, sendo esta análise realizada na primeira semana de avaliação, ao relacionar este parâmetro com a turbidez verificou da mesma amostra o valor de 80 UNT, sendo este o maior valor de turbidez obtido no período de avaliação. Nas demais valas e aplicações das taxas hidráulicas de 60, 80 e $100 \text{ L m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. Foram encontradas algas, e vegetais.

5.3 Relação das dosagens e os tempos de contato no efluente da lagoa anaeróbia

Caso ocorra uma comparação entre todos os resultados estatisticamente falando, em alguns casos as dosagens que atingiram aos padrões estabelecidos pela CONAMA 357/05 e pela OMS (1989) nem sempre tiveram as melhores eficiências. A tabela 5.53 apresenta a relação entre as dosagens de hipoclorito de cálcio e a sua eficiência. Para compreender melhor esta tabela basta observar o índice presente para cada variável, quando este índice é representado pelo número 1 significa que é o melhor tratamento e quando não aparecer nenhum valor é que esse tratamento não foi o indicado.

Tabela 5.53 - Relação entre as dosagens de hipoclorito de cálcio e a sua eficiência.

Dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L ⁻¹)										
Variável estudada	0	6,2	9,1	12	15	18	21	25	28	32
pH		1	1	1	1	1	1	1		
Condutividade		1	1	1	1					
Turbidez										
Cor aparente		1	1			1	1	1	1	1
Cor verdadeira		1	1	1	1			1	1	1
Alcalinidade Parcial					1	1	1			
Alcalinidade Total					1	1				
Cloro residual Total		1	1				1	1	1	
Cloro residual Combinado		1	1				1	1		
Nitrato										
Nitrito		1	1	1	1	1	1		1	1
N – Amoniacal				1	1	1	1	1	1	1
N – Orgânico										
DQObruta		1	1	1	1	1	1		1	1
DQO filtrada										
Fósforo Total				1	1	1	1	1	1	1
ST		1	1				1	1	1	1
STF		1	1				1	1	1	1
STV		1	1	1	1	1	1	1	1	1
SS		1	1	1		1	1	1	1	1
SSF										
SSV		1	1	1		1	1	1	1	1
<i>E. coli</i>				1	1	1	1	1	1	1
Coliformes Totais				1	1	1	1	1	1	1
Cistos de <i>E. coli</i>		1	1							1
Ovos										
Ancilostomatídeos		1	1							1
Larvas Nematóides		1	1	1	1					
	0	16	16	13	13	13	16	14	14	15
Eficiência (%)	0,00	12,31	12,31	10,00	10,00	10,00	12,31	10,77	10,77	11,54

Verifica-se através da eficiência das dosagens representada em percentagem que as dosagens 6,2, 9,1 e 21,0 mg L⁻¹ de hipoclorito de cálcio foram as que apresentaram melhores eficiências, porém como se sabe, a variável limitante é o *E. coli* e somente dosagens a partir de 25 mg L⁻¹ são efetivamente eficientes. Porém a mesma comparação foi realizada para se obter a relação entre os tempos de contato aplicados e a sua eficiência, veja a tabela 5.54.

Tabela 5.54 - Relação entre os tempos de contato aplicados e a sua eficiência.

Variável estudada	Tempo de Contato (min)		
	30	45	60
pH			
Condutividade			
Turbidez		1	1
Cor aparente			
Cor verdadeira			
Alcalinidade Parcial			
Alcalinidade Total			
Cloro residual Total			
Cloro residual Combinado			
Nitrato			
Nitrito			
N – Amoniacal			
N – Orgânico			
DQObruta			
DQO filtrada			
Fósforo Total			
ST	1	1	
STF			
STV			
SS		1	
SSF			
SSV		1	
<i>E. coli</i>			
Coliformes Totais			
Cistos de <i>E. coli</i>			
Ovos Ancilostomatídeos			
Larvas Nematóides			
	1	4	1
Eficiência (%)	14,29%	57,14%	14,29%

O que se pode observar que o tempo de contato de 45 minutos obteve uma eficiência superior a 57%, isso pode ter sido comprovado também a partir da observação das figuras do item 1 deste capítulo. Efetivamente o tempo de contato de 45 minutos forneceu resultados mais eficientes.

5.4 Relação das dosagens, tempos de contato, taxas hidráulicas e altura da camada de areia nas valas de filtração

Ao avaliar todos os parâmetros estudados juntamente com todas as variáveis, algumas conclusões poderão ser tomadas. A tabela 5.55 apresenta a relação das dosagens, tempos de contato, taxas hidráulicas e altura da camada de areia nas valas de filtração.

Tabela 5.55 - Relação das dosagens, tempos de contato, taxas hidráulicas e altura da camada de areia nas valas de filtração.

Variável estudada	Vala ⁽¹⁾			Tempo de contato ⁽²⁾			Dosagem ⁽³⁾			Taxa hidráulica ⁽⁴⁾				
	25	50	75	0	30	45	60	0	1,6	3,25	40	60	80	100
CRL		1	1		1	1	1		1					
CRT						1	1		1		1		1	1
CRC						1	1							
pH		1	1						1		1			
Cond.	1												1	
Turb.	1		1								1		1	1
Alc Parcial			1								1	1		
Alc Total			1								1	1		
Cor ap.	1	1			1	1	1		1	1			1	1
Cor verd.	1		1									1		1
Nitrato	1	1											1	
Nitrito			1									1		
N acal					1	1	1		1	1		1	1	
N orgân	1		1						1		1	1	1	
DQO b	1		1										1	1
Fósf. Total														
OD		1	1											1
ST	1		1									1	1	1
STF													1	
STV	1		1											
SST	1		1									1	1	1
SSF						1	1				1		1	1
SSV											1		1	1
E. coli					1	1	1				1		1	1
Coli. totais					1	1	1				1		1	1
Eficiência (%)	10	5	13	0	5	8	8	0	6	2	10	8	15	12
	35,7	17,8	46,4	0	23,8	38,1	38,1	0	75	25	22,2	17,78	33,33	26,6

(1) altura de areia da vala de filtração em metros; (2) Tempo de contato em minutos; (3) dosagem de hipoclorito de cálcio (mg L⁻¹); (4) Taxa hidráulica (L m⁻² dia⁻¹)

Ao verificar a análise estatística realizada levando-se em consideração todos os parâmetros e as variáveis constata-se que ao analisar as valas de filtração em separadamente, a melhor eficiência foi constatada na vala 0,75 m com eficiência superior a 46%, os melhores tempos de contato foram alcançados em 45 e 60 minutos, ambos com eficiência superior a 38%, a dosagem de hipoclorito de cálcio com melhor desempenho foi a de 1,6 mg L⁻¹ com eficiência igual a 75% e por fim as melhores taxas hidráulicas foram de 80 e 100L m⁻² dia⁻¹.

6 CONCLUSÕES

- A dosagem de hipoclorito de cálcio para o efluente da lagoa anaeróbia entre 25 e 32 mg L⁻¹ foram necessárias para a adequação dos efluentes da lagoa anaeróbia aos padrões estabelecidos pela OMS (1989) em atendimento ao reúso agrícola e a CONAMA 357/05 para lançamento em corpos de água receptores – *E. coli* ≤ 10³ NMP 1000 mL⁻¹. Efluentes das valas de filtração atingiram os padrões com dosagem 1,6 mg L⁻¹ de hipoclorito de cálcio.
- A grande variabilidade entre as dosagens de hipoclorito de cálcio requeridas para a desinfecção dos efluentes da lagoa anaeróbia deveu-se à variação nas suas características físicas e químicas.
- A eficiência da inativação de coliformes totais e *E. coli*, não foi influenciada pelo tempo de contato entre o hipoclorito de cálcio e os efluentes, porém ao analisar estatisticamente o tempo de contato 45 minutos, constatou-se que foi aquele que expressou melhores resultados.

- Verificou-se, a partir de análises laboratoriais, que o efluente não sofre nenhuma mudança nas suas características físicas, químicas e microbiológicas a que foi testada, com relação ao transporte entre uma cidade e outra.

- As variáveis: pH, temperatura, nitrato e nitrito obedecem a CONAMA 357/05, em contrapartida, as variáveis: turbidez, cor, nitrogênio amoniacal e fósforo total, não obedecem à norma vigente para o efluente da lagoa anaeróbia se levar-se em consideração que este efluente seja lançado no corpo receptor de classe 1 e 2.

- Turbidez, sólidos suspensos, cor verdadeira e aparente, revelaram-se como as principais causas pela grande demanda de hipoclorito de cálcio e, a princípio, foi o principal causador na ineficiência da inativação dos microrganismos em dosagens baixas no efluente da lagoa anaeróbia.

- O método de Hoffman, Pons e Janer modificado, baseado na contagem de organismos patogênicos em microscópio, não permitiu avaliar a eficiência de desinfecção com hipoclorito de cálcio, em organismos como os helmintos e protozoários. Com relação à remoção de helmintos e protozoários, verificou-se que a cloração não é a técnica mais adequada.

- A descloração foi eficiente em concentração de $0,030 \text{ mols L}^{-1}$ de tiosulfato de sódio e suficiente para atender a CONAMA 357/05 que estabelece a quantidade máxima de cloro residual total em $0,01 \text{ mg L}^{-1}$.

- A remoção natural de *E. coli* e coliformes totais nas valas de filtração não foi eficiente, tornando-se assim, a desinfecção um processo indispensável para adequar o efluente na legislação CONAMA 357/05.

- Os efluentes das valas de filtração, devido ao seu maior grau de estabilização em relação aos efluentes da lagoa anaeróbia, exerceram baixa demanda de hipoclorito de cálcio, entre 1,6 e 3,25 mg L⁻¹ à inativação de *E. coli*.
- A vala de filtração 0,75 m apresentou melhor qualidade do efluente final gerado, tornando-se a vala com 46,4% de eficiente levando-se em consideração todas as variáveis estudadas.
- Com relação aos tempos de contato entre o efluente das valas e o hipoclorito de cálcio, tempos iguais a 45 e 60 minutos tiveram uma maior eficiência com relação às todas as variáveis estudadas.
- A dosagem de 1,6mg L⁻¹ de hipoclorito de cálcio, nas valas de filtração obteve uma eficiência de 75% com relação a todas as variáveis estudadas.
- Taxas hidráulicas de 80 e 100L m⁻² dia⁻¹ foram as que apresentaram melhores eficiências na remoção de cor, turbidez e coliformes totais e *E. coli*.
- Para as valas de filtração no que diz respeito as variáveis: cor aparente, cor verdadeira, e turbidez houve uma ótima remoção, atendendo aos padrões estabelecidos pela CONAMA 357/05 em função do processo de filtração.
- As valas de filtração também foram eficientes na remoção de sólidos totais e suspensos para todas as camadas de areia.
- Em relação ao nitrogênio, existiu uma grande nitrificação, em quase todas as valas de filtração antes mesmo deste efluente sofrer a desinfecção.

- Com relação a variável fósforo total, para as valas de filtração, em alguns casos atenderam a norma vigente em se tratando de lançamento em corpos receptores de classe 1 e 2, porém, estudos mais detalhados deveriam ser realizados para que se obtenha melhores conclusões.
- A variável OD obedeceu a CONAMA 357/05 tanto para lançamento em corpos receptores de classe 1 quanto para classe 2 para o efluente das valas de filtração.
- A performance de remoção natural de organismos patogênicos nas valas de filtração 0,25 m, 0,50 m e 0,75 m foi excelente, verificando assim, que os organismos patogênicos ficam retidos nas camadas de areia.

7 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Recomenda-se a trabalhos futuros que possam estudar a desinfecção por cloração e que os helmintos e protozoários possam ser investigados mais profundamente.
- Recomenda-se a trabalhos futuros que adotem metodologia para determinação de helmintos e protozoários que permita avaliar a viabilidade destes organismos.
- Sugerem-se estudos posteriores que avaliem os subprodutos formados da desinfecção quando se utilizar o hipoclorito de cálcio.
- Estudar o funcionamento das valas de filtração por um período de tempo maior para determinar a vida útil das mesmas e avaliar o desempenho das taxas hidráulicas de até $200 \text{ L m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, ou maiores.

- Avaliar mais intensamente a possibilidade de aplicação de pastilhas de hipoclorito de cálcio, em escala real, na saída de sistemas de lagoa, para adequar aos padrões de normas e legislação CONAMA.
- Utilizar um desclorante que não seja a base de sódio, o desclorante recomendado é o dióxido de enxofre, pois a finalidade de se utilizar o efluente na agricultura o sódio não é uma boa alternativa.
- Estudar técnicas para remoção de sódio.
- Verificar a presença / ausência de organismos patogênicos nas camadas de areia após período de repouso.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7229 - Projeto, construção e operação de tanques sépticos.** 15p. 1993.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13969 – Tanques sépticos – Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – Projeto, construção e operação.** 60p. 1997.

ALVES, R.M. **Usos diversos para a água.** <http://www.ied.ufla.br/alunos/turma0102/dupla22/%C1guaBemPrecioso.html#Manejo>, 24 de abril 2006 – acessado 19:37h.

ANA – Agencia Nacional das Águas. Secretaria de Recursos hídricos. **Plano nacional de Recursos hídricos. Documento Base de referência.** Revisão 01, Abril 2003.

ASSIRATI, D. M. **Desinfecção de efluentes de ETE com ozônio para uso agrícola.** 2005. 152f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

AWWA/APHA/WEF. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 20.ed. New York: American Public Health Association, 2001.

BASSANI, L.; **Desinfecção de efluentes sanitários por ozônio: Parâmetros operacionais e avaliação econômica**. 2003. 111f. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

BASSANI,I; HASSEMER, M.E.; DAMÁSIO, D.L.;LAPOLLI,F.R. **Desinfecção de efluentes domésticos pela ozonização**. In: Simpósio Ítalo Brasileiro de engenharia Sanitária e Ambiental , VI, 2002, Vitória. CD-Rom

BATALHA, B.L., Costa, T. C. R., **Desinfecção de água: processo, controle e aplicação**, Manual CETESB, São Paulo, 1994, 59p.

CETESB – Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental. **Norma L5.550, Helmintos e Protozoários Patogênicos: Contagem de Ovos e Cistos em Amostras Ambientais**. São Paulo: CETESB, 1989. p. :1-22;

CETESB – Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental. Norma L5.240, **Coliformes totais e fecais: detecção em amostras de água através do teste de presença - ausência: método de ensaio**. São Paulo: CETESB,. p.: 17; 1991

CETESB – Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental. **Água, Saúde e Desinfecção**. Série Manuais – ISSN 0103—2623,. Coordenador: Bem-Hur Luttenbarck Batalha, São Paulo,1994, 59p.

CHERNICHARO, C.A.L; ZEBINI A.M; BITTENCORT, R, B. Análise comparativa das técnicas de tubos múltiplos e de substrato definido, aplicadas á identificação de coliforme sem amostra de esgoto bruto e de efluentes anaeróbios In: **Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios**: aspectos metodológicos. - Belo Horizonte, MG: Abes, 2001a. 118 p.

CHERNICHARO, C.A.L.; DANIEL, L. A.; SENS. ,M.; COURAUCCI FILHO, B.; **Projeto PROSAB – Edital II tema 2 – Pós-Tratamento de efluentes de reatores anaeróbios**. Coordenador: Carlos Augusto Lemos Chernicharo, 2001, 544p.

CONAMA. **Resolução número 357, de 17 de Março de 2005.** Conselho Nacional de Meio Ambiente. Ministério do Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente, 2005.

CONAMA. **Resolução número. 274, de 29 de Novembro de 2000.** Conselho Nacional de Meio Ambiente. Ministério do Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente, 2000.

CORAUCCI FILHO, B.; et al. **Avaliação da Fase Inicial das Valas de Filtração como Método de Pós-Tratamento de Efluentes Anaeróbios.** In: Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo. Campos(Coordenador) Coletânea de trabalhos técnicos. Projeto Prosab. São Carlos, 2000b. 348p.

CULP, Gordon; ***Trihalomethane reduction in drinking water, Technologies, costs, Effectiveness, monitoring, compliance.*** New Jersey, Noyes Publications, 1984.

DANIEL, L.A. **Processos de desinfecção e desinfetantes alternativos na produção de água potável,** Prosab Edital 2 – São Carlos, 2001, 139p.

DI BERNARDO, L. **MÉTODOS E TÉCNICAS DE TRATAMENTO DE ÁGUA, VOLUME II - RIO DE JANEIRO: ABES, 1993.**

FAO – **Food and Agricultura Organization of the United Nations.** <http://www.fao.org/>, em 15 de out 2002 as 15:30h.

GONÇALVES, R.C. **Desinfecção de efluentes sanitários, Remoção de organismos patogênicos e substâncias nocivas. Aplicações para fins produtivos como agricultura, aquicultura e hidroponia.** Prosab - Edital 3-Rio de Janeiro, 2003,422p.

IBGE/Contagem populacional e projeções demográficas preliminares, 2000.

JORDÃO, E. P. & PESSOA, ARRUDA, C.: **Tratamento de esgotos domésticos** 4ª edição, Rio de Janeiro, 2005, 932p.

MACEDO, L. H. H. et al. **Estudos dos trihalometanos**, 12.º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Balneário Camboriú, Santa Catarina: 20 a 25 de novembro de 1983.

MACÊDO, J. A. B. et al.; **Formação de trihalometanos em soluções sanitizantes utilizadas no processo de desinfecção de indústrias de alimentação**; <http://www.sanepar.com.br/sanepar/sanare/v17/FORMACAODETRIHALOMETANOS>, 2001 Em 10 de abril de 2005.

MACÊDO, J. A. B.; **Subprodutos do processo de desinfecção de água pelos derivados clorados - Disinfection byproducts - DBP**, Juiz de Fora, Minas Gerais: Macêdo, 2001.

MEYER, S. T. et al. **Chlorine use in water disinfection, trihalomethane formation, and potential risks to public health**. *Cad. Saúde Pública*. [online]. Jan./Mar. 1994, vol.10, no.1, p.99-110. Available from World Wide Web: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102311X1994000100011&lng=en&nrm=iso. Em 30 de maio de 2005

OMS – ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE . **Directrices sanitárias sobre el uso de águas residuales em agricultura e aquicultura**. *Séries de reportagens técnicas*. 778. OMS, Genebra, 1989

OPAS - Organización Panamericana de la Salud. **Guias para la calidad del agua potable**. Washington (DC); 1987, v.2.

PIRES, M. S. G. **Avaliação da presença de patógenos no lodo líquido estabilizado de ETE (processo aeróbio) quando aplicado ao solo arenoso-siltoso**. 2003. Campinas, 162p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil)-Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

Portaria número 518 - de 25 de abril de 2004 - Procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, Ministério da Saúde, Brasil, 15p.

SANTOS, C. L. et al. **Cloraminas: vantagens e desvantagens de se uso para redução de THM em substituição ao cloro**, Revista DAE-SABESP nº 159, 22-25, Set-Out 1989.

SOUSA JÚNIOR, O. L. **Avaliação das valas de filtração como método de pós-tratamento de efluente anaeróbio: remoção natural de patógenos e nutrientes na aplicação de altas taxas hidráulicas**. 2006. XXXF. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

SYMONS, JM, STEVENS A.A, CLARK R. M., Geldreich, E.E., Love, O.T., De Marco, J. **Treatment techniques for controlling trihalometanes in drinking water**. Cincinnati: EPA: 1981. p. to-22{EPA/600/2-81/156

TCHOBANOGLIOUS, G.; BURTON, F. L.; STENSEL, H.D. Wastewater engineering, treatment and reuse. 4th ed./revised. Nova Iorque: Metcalf & Eddy Inc. McGraw-Hill. 2003. p. 1819.

TOMINAGA, M. Y e MIDIO, A. F. **Exposição humana a trihalometanos presentes em água tratada**. *Rev. Saúde Pública*. [online]. ago. 1999, vol.33, no.4, p.413-421. Disponível na World Wide Web: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S00348910199900040013&lng=pt&nrm=iso em 02 de junho de 2005.

TONETTI, A. L; **Pós-tratamento de efluente anaeróbio por filtros de areia**. 2004. Campinas, 120 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

UNEP. United Nations Environment Programme. **GEO 2000** - Global Environment Outlook 2000. Londres, UK. 1999.

UNEP. United Nations Environment Programme. **GEO 2003** - Global Environment Outlook 2003. Londres, UK., 2003

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). Municipal Wastewater Disinfection – **Desing Manual, EPA/625/1-86/021**, Cincinnati, 1986, 247p.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). “**Alternative Disinfectants and oxidants guidance manual**”. April 1999.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**, 1996, 243p. 2ª Edição, Belo Horizonte.

ZARPELON, A., RODRIGUES, E. M, **Os trihalometanos na água de consumo humano**, 2001, SANEPAR ,www.sanepar.com.br, em 19 de maio de 2005 as 10:30h

WHITE, J. C. “**Handbook of chlorination and Alternative Disinfectants**”. 4ª ed. Nova Iorque:John Wiley & Sons, INC.. 1999. 1569p.