

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Escola de Engenharia
Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos

José Angelo de Souza Oliveira

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DO CLORADOR POR DIFUSÃO NA DESINFECÇÃO DE
ÁGUAS SINTÉTICAS DE COR E TURBIDEZ MODERADAS**

Belo Horizonte
2000

José Angelo de Souza Oliveira

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DO CLORADOR POR DIFUSÃO NA DESINFECÇÃO DE
ÁGUAS SINTÉTICAS DE COR E TURBIDEZ MODERADAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

Área de concentração: Saneamento

Linha de pesquisa: Qualidade e tratamento de água para consumo humano

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Libânio

Belo Horizonte
2000

O48a

Oliveira, José Angelo de Souza.

Avaliação da eficiência do clorador por difusão na desinfecção de águas sintéticas de cor e turbidez moderadas [recurso eletrônico] / José Angelo de Souza Oliveira. – 2000.

1 recurso online (117 f. : il., color.) : pdf.

Orientador: Marcelo Libânio.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia.

Inclui bibliografia.

1. Engenharia sanitária – Teses. 2. Saneamento – Teses. 3. Água – Desinfecção – Teses. 4. Cloração – Teses. I. Libânio, Marcelo, 1960-. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. III. Título.

CDU: 628(043)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos
Escola de Engenharia
Av. Contorno 842 - 7º andar 30110-060 Belo Horizonte - BRASIL
Telefax: 55 (0)31 - 238-1882

ESCOLA DE ENGENHARIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SANEAMENTO, MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE JOSÉ ÂNGELO DE SOUZA OLIVEIRA

NÚMERO REGISTRO : 122ª

Às 9:30 horas do dia 25 do mês de agosto de 2000, reuniu-se na Escola de Engenharia da UFMG a Comissão Examinadora de DISSERTAÇÃO, indicada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em SANEAMENTO, MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS, para julgar, em exame final, o trabalho final intitulado:

“AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DO CLORADOR POR DIFUSÃO NA DESINFECÇÃO DE ÁGUAS SINTÉTICAS DE COR E TURBIDEZ MODERADAS ”

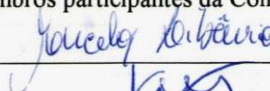
requisito parcial para a obtenção do Grau de MESTRE em SANEAMENTO, MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS. Área de Concentração: SANEAMENTO

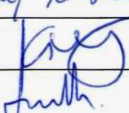
Abrindo a sessão, o Orientador, Prof. Marcelo Libânio, após dar a conhecer aos presentes o teor das Normas Regulamentares do Trabalho Final, passou a palavra ao candidato, para apresentação de seu trabalho. Seguiu-se a arguição pelos examinadores, com a respectiva defesa pelo candidato. Logo após, a Comissão se reuniu, sem a presença do candidato e do público, para julgamento e expedição do resultado final. Foram atribuídas as seguintes indicações:

Prof.	Marcelo Libânio	Instituição	EHR/UFMG	Indicação	Aprovado
Prof.	Eduardo von Sperling	Instituição	DESA/UFMG	Indicação	Aprovado
Prof.	Léo Heller	Instituição	DESA/UFMG	Indicação	Aprovado
Prof.	Rafael Kopschitz Xavier Bastos	Instituição	UFV	Indicação	Aprovado

Pelas indicações, o candidato foi considerado APROVADO, devendo proceder a algumas alterações no trabalho, para a sua edição definitiva, a ser entregue no prazo de 2 meses.

O resultado final foi comunicado publicamente ao candidato pelo Presidente da Comissão. Nada mais havendo a tratar o Presidente encerrou a reunião e lavrou a presente ATA, que será assinada por todos os membros participantes da Comissão Examinadora. Belo Horizonte, 25 de agosto de 2000.









“Avaliação da Eficiência do Clorador por Difusão na Desinfecção de Águas Sintéticas de Cor e Turbidez Moderadas ”

José Ângelo de Souza Oliveira

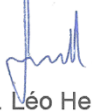
Dissertação de Mestrado submetida à banca examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Grau de Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos - Área de Concentração: Saneamento

Aprovada em 25 de agosto de 2000.

Por:


Prof. Dr. Marcelo Libânio


Prof. Dr. Eduardo von Sperling


Prof. Dr. Léo Heller


Prof. Dr. Rafael Kopschitz Xavier Bastos

Este trabalho é, antes de tudo, fruto do amor da minha família. À minha esposa Odiléia, meu porto seguro e aos meus amados filhos Vítor e Mariana, que dão sentido à minha jornada.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por tudo.

Ao meu orientador, Marcelo Libânio, pela amizade, compreensão, atenção e orientação sempre presentes.

A todos os professores e funcionários vinculados a Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, pelo apoio sempre que solicitado.

Às amizades aqui cultivadas, pelas muitas contribuições ao longo desta jornada.

Aos companheiros do PROSAB, Leonor, Berenice, Antônio, Ludmila, Patrícia, Vanilda, Alex, Maria de Lourdes e Alexandra, fundamentais neste trabalho.

Ao Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (PROSAB) - Alternativas de Desinfecção para Sistemas de Pequeno Porte, FINEP, CEF e CNPq, pelo auxílio concedido em forma de bolsa de estudo e verba para montagem laboratorial.

À minha família, pela força, apoio, confiança e amor, sempre a mim dedicados.

Às pessoas mais importantes da minha vida, Odiléia, Victor e Mariana, por existirem.

"Sê tu mesmo a mudança que queres ver no mundo."
Mahatma Gandhi

RESUMO

A precariedade do saneamento no Brasil, constatada pelas últimas investigações realizadas, principalmente pelo IBGE, aponta que parcela significativa da população é carente de abastecimento de água potável e de algum tipo de sistema de tratamento de esgoto doméstico, e em maior monta a população de pequenas comunidades ou rural. Diante desse problema, este trabalho, realizado em escala piloto em laboratório, avaliou o desempenho do clorador por difusão, que é um dispositivo de desinfecção de baixo custo, especialmente direcionado para as águas subterrâneas, aplicável para as condições de inúmeras pequenas comunidades brasileiras. Os trabalhos foram realizados no Laboratório de Aulas Práticas do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, onde avaliou-se o funcionamento de três poços rasos simulados, nos quais se introduziram contaminações bacteriológicas com diferentes microrganismos. Obtiveram-se resultados da desinfecção, após a introdução do clorador por difusão, tendo a variação de três parâmetros de estudos: o teor de cloro ativo (hipoclorito de cálcio e cal clorada), a relação areia/desinfetante e a variação de vazão, aplicados a águas sintéticas com cor verdadeira e turbidez em teores acima do que preconiza a Portaria 36/90. O aparato experimental composto por dois reservatórios de 500 l para as águas de estudo, uma caixa de distribuição de 50 l e três bombonas de 100 l, com circulação de distintas vazões diárias em cada uma delas, simulou o funcionamento de poços rasos sujeitos a estas condições. Os cloradores foram instalados nos poços simulados e a eficiência da desinfecção avaliada em um período de 7 a 26 dias. Durante as carreiras realizadas com o hipoclorito de cálcio, o desempenho do dispositivo, com relação ao efeito desinfetante, foi considerado bom; em função dos picos de residual de cloro apresenta ampla possibilidade de uso em vazões superiores a 2.000 l/d. As carreiras efetuadas com a cal clorada mostraram um desempenho irregular do ponto de vista da desinfecção. Vale ressaltar que se verificou, para ambos desinfetantes, inativação completa de *E. coli* sempre que o cloro residual foi superior a 0,10 mg/l Cl_2 . Com relação à variação da relação areia/desinfetante proposta, não foi registrada diferença significativa nas condições aplicadas no experimento.

Palavras-chave: Clorador por difusão. Desinfecção. Cloro residual. Hipoclorito de cálcio. Cal clorada.

ABSTRACT

The precariousness of sanitation in Brazil, as confirmed by the latest research carried out, mainly by the IBGE, indicates that a significant portion of the population lacks a supply of drinking water and some type of domestic sewage treatment system, and this is particularly true for the population living in small or rural communities. In view of this problem, this study, carried out on a pilot scale in a laboratory, evaluated the performance of the diffusion chlorinator, which is a low-cost disinfection device, especially designed for groundwater, applicable to the conditions of numerous small Brazilian communities. The work was carried out in the Practical Classes Laboratory of the Department of Sanitary and Environmental Engineering, of the School of Engineering of the Federal University of Minas Gerais, where the functioning of three simulated shallow wells was evaluated, into which bacteriological contamination with different microorganisms was introduced. Disinfection results were obtained after the introduction of the diffusion chlorinator, with the variation of three study parameters: the active chlorine content (calcium hypochlorite and chlorinated lime), the sand/disinfectant ratio and the flow rate variation, applied to synthetic waters with true color and turbidity levels above those recommended by Ordinance 36/90. The experimental apparatus, consisting of two 500-liter reservoirs for the study waters, a 50-liter distribution box and three 100-liter drums, with different daily flow rates circulating in each of them, simulated the operation of shallow wells subject to these conditions. The chlorinators were installed in the simulated wells and the disinfection efficiency was evaluated over a period of 7 to 26 days. During the runs carried out with calcium hypochlorite, the performance of the device, with respect to the disinfectant effect, was considered good; Due to the chlorine residual peaks, it has a wide range of uses at flow rates above 2.000 l/d. The runs carried out with chlorinated lime showed irregular performance from the disinfection point of view. It is worth mentioning that, for both disinfectants, complete inactivation of *E. coli* was observed whenever the residual chlorine was above 0,10 mg/l Cl_2 . Regarding the variation in the proposed sand/disinfectant ratio, no significant difference was recorded in the conditions applied in the experiment.

Keywords: Diffusion chlorinator. Disinfection. Residual chlorine. Calcium hypochlorite. Chlorinated lime.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ciclo hidrológico.....	22
Figura 2 - Distribuição da água no planeta.....	23
Figura 3 - Comportamento de água em solo arenoso	27
Figura 4 - Distribuição de HOCl e OCl em água em função do pH	37
Figura 5 - Cloração ao Break Point	38
Figura 6 - Clorador por Difusão	53
Figura 7 - Clorador por Difusão Piloto Utilizado na Pesquisa (escala 1:10)	53
Figura 8 - Visão geral do Aparato Experimental.....	55
Figura 9 - Detalhe das bombonas como simuladores de poços.....	55
Figura 10 - Esquema das carreiras realizadas com água sintética 1 (< turbidez)	57
Figura 11 - Esquema das carreiras realizadas com água sintética 2 (> turbidez)	58
Figura 12 - Concentração de cloro residual para o clorador com hipoclorito de cálcio e relação areia/desinfetante igual a 2,5 (água sintética 1)	59
Figura 13 - Concentração de cloro residual para o clorador com hipoclorito de cálcio e relação areia/desinfetante igual a 2,5 (água sintética 2)	60
Figura 14 - Concentração de cloro residual para o clorador com hipoclorito de cálcio e relação areia/desinfetante igual a 2,0 (água sintética 1)	61
Figura 15 - Concentração de cloro residual para o clorador com hipoclorito de cálcio e relação areia/desinfetante igual a 2,5 (água sintética 1)	61
Figura 16 - Concentração de cloro residual para o clorador com hipoclorito de cálcio e relação areia/desinfetante igual a 3,0 (água sintética 1)	62
Figura 17 - Concentração de cloro residual para o clorador com cal clorada e relação areia/desinfetante igual a 2,0 (água sintética 1)	62
Figura 18 - Concentração de cloro residual para o clorador com cal clorada e relação areia/desinfetante igual a 2,5 (água sintética 1)	63
Figura 19 - Concentração de cloro residual para o clorador com cal clorada e relação areia/desinfetante igual a 3,0 (água sintética 1)	63
Figura 20 - Concentração de cloro residual no clorador por difusão com cal clorada em água sintética 1	64
Figura 21 - Logs de remoção para o clorador com hipoclorito de cálcio, relação areia/desinfetante igual a 2,0 (água sintética 1) e contaminação com <i>E. coli</i>	65

Figura 22 - Logs de remoção para o clorador com hipoclorito de cálcio, relação areia/desinfetante igual a 2,5 (água sintética 1) e contaminação com <i>E. coli</i>	65
Figura 23 - Logs de remoção para o clorador com hipoclorito de cálcio, relação areia/desinfetante igual a 3,0 (água sintética 1) e contaminação com <i>E. coli</i>	66
Figura 24 - Logs de remoção para o clorador com hipoclorito de cálcio, relação areia/desinfetante igual a 3,0 (água sintética 1) e contaminação com <i>Enterobacter</i> .66	
Figura 25 - Logs de remoção para o clorador com cal clorada, relação areia/desinfetante igual a 2,5 (água sintética 1) e contaminação com <i>Enterobacter</i> .67	
Figura 26 - Logs de remoção para o clorador com cal clorada, relação areia/desinfetante igual a 3,0 (água sintética 1) e contaminação com <i>Enterobacter</i> .68	
Figura 27 - Concentração de cloro residual para o clorador com hipoclorito de cálcio e relação areia/desinfetante igual a 2,0 (água sintética 2)	69
Figura 28 - Concentração de cloro residual para o clorador com hipoclorito de cálcio e relação areia/desinfetante igual a 2,5 (água sintética 2)	69
Figura 29 - Concentração de cloro residual para o clorador com hipoclorito de cálcio e relação areia/desinfetante igual a 3,0 (água sintética 2)	70
Figura 30 - Logs de remoção para o clorador com hipoclorito de cálcio, relação areia/desinfetante igual a 3,0 (água sintética 2) e contaminação com <i>Enterobacter</i> .71	
Figura 31 - Logs de remoção para o clorador com hipoclorito de cálcio, relação areia/desinfetante igual a 3,0 (água sintética 2) e contaminação com <i>Colifagos</i>	72
Figura 32 - Concentração de cloro residual para o clorador com hipoclorito de cálcio, relação areia/desinfetante igual a 2,0 (água sintética 1)	73
Figura 33 - Concentração de cloro residual para o clorador com cal clorada, relação areia/desinfetante igual a 2,0 (água sintética 1)	74
Figura 34 - Concentração de cloro residual para o clorador com hipoclorito de cálcio, relação areia/desinfetante igual a 2,0 (água sintética 2)	74
Figura 35 - Concentração de cloro residual para o clorador com hipoclorito de cálcio, relação areia/desinfetante igual a 2,5 (água sintética 1)	75
Figura 36 - Concentração de cloro residual para o clorador com cal clorada, relação areia/desinfetante igual a 2,5 (água sintética 1)	75
Figura 37 - Concentração de cloro residual para o clorador com hipoclorito de cálcio, relação areia/desinfetante igual a 2,5 (água sintética 2)	76
Figura 38 - Concentração de cloro residual para o clorador com hipoclorito de cálcio, relação areia/desinfetante igual a 3,0 (água sintética 1)	76

Figura 39 - Concentração de cloro residual para o clorador com cal clorada, relação areia/desinfetante igual a 3,0 (água sintética 1)	77
Figura 40 - Concentração de cloro residual para o clorador com hipoclorito de cálcio, relação areia/desinfetante igual a 3,0 (água sintética 2)	77

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Principais Agentes Patogênicos Transmitidos pela Água	31
Tabela 2 - Valores de CT para a Redução de 3 logs de <i>Giardia lamblia</i>	40
Tabela 3 - Valores de CT para Inativação de Vírus.....	41
Tabela 4 - Comparação entre Alguns Desinfetantes de Água Potável.....	50
Tabela 5 - Características da Água de Estudo	51
Tabela 6 - Estatística Básica das Carreiras do Clorador por Difusão.....	78

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária Ambiental

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

AH - Ácido haloacético

AIICA - Agência Internacional de Investigação do Câncer

AWWA - American Water Works Association

CEF - Caixa Econômica Federal

CEPIS - Centro Panamericano de Engenharia Sanitária e Ciências do Ambiente

CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

CT - Tempo de Contato

DESA - Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental

EPA - Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos

FINEP - Financiadora de Estudos e Projetos

IAV - Instituto Ambiental Vivágua

MS - Ministério da Saúde

NMC - Níveis máximos de contaminantes

OMS - Organização Mundial da Saúde

OPS - Organização Pan-americana da Saúde

pH - Potencial hidrogeniônico

PNAD - Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílio

PNSB - Pesquisa Nacional de Saneamento Básico

PROSAB - Programa de Pesquisa em Saneamento Básico

RU - Radiação Ultravioleta

SDC - Subprodutos da desinfecção com cloro

THMs - Trihalometanos

UFMG - Universidade Federal de Minas Gerais

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
2	OBJETIVOS	21
2.1	Objetivo Geral	21
2.2	Objetivos Específicos	21
3	REVISÃO DA LITERATURA	22
3.1	Ciclo Hidrológico	22
3.2	Manejo Racional dos Recursos Hídricos	23
3.3	A Água Subterrânea.....	26
3.4	A Qualidade da Água Subterrânea	28
3.5	Doenças Transmitidas pela Água	30
3.6	A Desinfecção e a Evolução Microbiológica	31
3.7	Desinfecção com Cloro	33
3.8	Mecanismos de Ação do Cloro	35
3.9	Fatores Intervenientes na Eficiência da Desinfecção.....	38
3.10	Indicadores da Eficiência da Desinfecção.....	41
3.11	Subprodutos da Desinfecção com Cloro.....	43
3.12	Controle dos Subprodutos da Desinfecção.....	45
3.13	Desinfetantes e Dispositivos Alternativos de Desinfecção.....	46
4	METODOLOGIA	51
4.1	Preparação e Características das Águas de Estudo.....	51
4.2	Material e Montagem do Aparato Experimental	52
4.3	Análises Microbiológicas.....	55
4.3.1	Contaminação da Água Sintética	55
4.3.2	Análises Bacteriológicas.....	56
4.4	Determinações Analíticas	56
4.5	Protocolo de Ensaios	56
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	59
5.1	Definição do Tempo das Carreiras do Clorador.....	59
5.2	Água Sintética 1	61
5.2.1	Resultados de Cloro Residual	61
5.2.2	Eficiência da Desinfecção	64
5.3	Água Sintética 2.....	68
5.3.1	Resultados de Cloro Residual	68
5.3.2	Eficiência da Desinfecção	70
5.4	Influência da Vazão.....	72

5.5	Estatística Básica dos Resultados de Cloro residual	73
6	CONCLUSÕES	79
7	RECOMENDAÇÕES.....	81
	REFERÊNCIAS	82
	APÊNDICE A – Resultados dos Experimentos	90
	ANEXO A – Procedimentos de Análises Bacteriológicas, Físicas e Químicas	102

1 INTRODUÇÃO

É de suma importância para garantir o bem-estar e a saúde dos seres humanos a disponibilidade de água de boa qualidade para consumo, preparação de alimentos, higiene pessoal e doméstica. Em função do aumento da população mundial e da ativa intervenção do homem sobre o meio ambiente, as fontes de água veem sofrendo um processo de degradação da sua qualidade e consequente redução de suas reservas disponíveis.

Pelo menos um terço da população dos países em desenvolvimento não tem acesso a suprimentos de água de abastecimento confiáveis e seguros, e, desta forma, esta população está sujeita a diversos problemas de saúde pública, em particular às doenças de veiculação hídrica. Para superar esse quadro os investimentos necessários são enormes e, freqüentemente, não estão disponíveis, particularmente nos países subdesenvolvidos e em desenvolvimento.

No Brasil, dados coletados na Pesquisa Nacional de Saneamento Básico - PNSB - em 1989, mostram que os problemas mais graves de abastecimento de água, e de saneamento em geral, encontram-se nos municípios com até 20.000 habitantes, nos quais o tratamento de água adequado não atinge, em média, 20% da água distribuída à população (IBGE, 1992).

Segundo a Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios - PNAD - 76% dos domicílios existentes no país estão conectados à rede de abastecimento de água, proporção que atinge 90% nas áreas urbanas e 17% nas rurais. A distribuição por regiões mostra coberturas mais elevadas na região Sudeste (96%), seguindo-se as regiões Sul (93%), Nordeste (84%), Centro-Oeste (82%) e Norte (70%) (IBGE, 1996).

As informações mais recentes, de âmbito nacional, sobre a qualidade da água de abastecimento referem-se a inquérito realizado em 1989, indicando que em 83,4% das cidades servidas por serviços públicos de abastecimento de água, existia alguma forma de tratamento - convencional, parcial ou simples desinfecção (IBGE, 1992). Contudo, tais dados não contemplam a qualidade da água distribuída e as frequentes intermitências no abastecimento em inúmeras localidades.

De acordo com o XVII Catálogo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES, 1994), em 1992, cerca de 33% da população do país não era servida pelos sistemas de abastecimento de água, com isso, parcela significativa da população brasileira é abastecida por águas superficiais e subterrâneas sem qualquer tipo de tratamento, especialmente nas pequenas localidades, concorrendo para disseminação de diversas doenças de veiculação hídrica.

Diversas pequenas comunidades são abastecidas por poços rasos que captam água em aquíferos freáticos, bastante susceptíveis a contaminação. Na maioria dos casos, tal se sucede em função da inexistência de redes coletoras de esgotos, acarretando o emprego extensivo de fossas negras¹ e pela escavação e revestimento inadequados dos poços. Tais afirmações foram comprovadas por uma inspeção sanitária realizada na cidade paulista de Araraquara em 41 poços rasos, através da qual se verificou a inexistência de qualquer poço devidamente protegido de contaminação. De forma análoga, de um total de 5.200 poços avaliados no município de Ponta Grossa (PR) 94 % foram considerados desprotegidos (GONZAGA, 1996).

Desta forma, o emprego de dispositivos de desinfecção de baixo custo, especialmente direcionados para as águas subterrâneas, torna-se indispensável em inúmeras das pequenas comunidades brasileiras. Esta situação justifica a presente pesquisa, cujo cerne consiste na desinfecção de águas que não atendam algumas premissas contidas na Portaria 36 (MS, 1990). Esta investigação científica constitui um dos subprojetos integrante da rede do Tema 1 - Alternativas de Desinfecção para Sistemas de Pequeno Porte, Edital 2 do Programa de Pesquisa em Saneamento Básico, PROSAB, financiado pela FINEP, CEF e CNPq.

¹ Utiliza-se a fossa séptica em 20% dos domicílios (23% na área urbana e 45% na rural), enquanto 29% dos domicílios (25% na área urbana e 45% na rural) serviam-se de fossa rudimentar ou da eliminação dos dejetos em rios ou valas (IBGE, 1996).

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Oferecer alternativas de baixo custo para a desinfecção de águas superficiais e subterrâneas em pequenas comunidades, avaliando a eficácia do clorador por difusão no tratamento de águas sintéticas com níveis de cor e turbidez superiores aos estabelecidos pela Portaria 36/90.

2.2 Objetivos Específicos

- Avaliação do desempenho do clorador por difusão na inativação de Coliformes totais, *Escherichia coli* e Colifagos, utilizando-se vazões compatíveis com os sistemas de abastecimento de pequeno porte;
- Comparar a eficiência na remoção de microrganismos e a concentração de cloro residual para: distintos compostos de cloro, hipoclorito de cálcio e cal clorada com teores de cloro ativo de 65 e 19,2%, respectivamente; distintas relações entre o volume de areia e o de desinfetante no interior do dispositivo; variação de vazão (consumo médio de uma família de 5 pessoas tendo com cota per capita de 150 l/d, com um aumento de 75 e 150% nas vazões decorrentes).

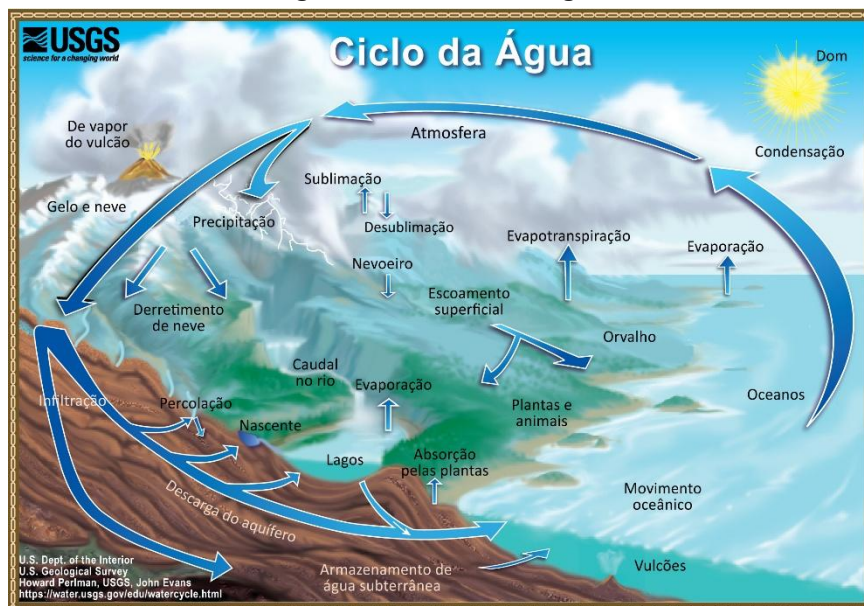
3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Ciclo Hidrológico

O ciclo hidrológico possui três componentes principais, precipitação, evaporação e transporte de vapor.

A água precipita-se do céu como chuva ou neve, a maior parte caindo no mar e retorna à atmosfera através da evaporação. Uma pequena parte da água que cai na terra é retida e absorvida pela vegetação ou outros organismos e a maior parte corre para o mar, seja como água de escoamento superficial ou como água subterrânea. Na direção inversa, o vapor d'água é levado por correntes atmosféricas do mar para a terra, e o ciclo se completa com novas precipitações. As precipitações que caem no solo representam a renovação deste precioso recurso do qual depende a vida terrestre, como demonstrado na Figura 1 (CUSTODIO & LLAMAS, 1983).

Figura 1 - Ciclo hidrológico



Fonte: Domínio público (2000)

Como demonstrado na Figura 2, quase toda a água do planeta concentra-se nos oceanos. Apenas uma pequena fração (menos de 3%) encontra-se na terra, sendo a maior parte desta sob a forma de gelo, neve ou abaixo da superfície. Só uma fração muito pequena (cerca de 1%) de toda a água terrestre encontra-se diretamente disponível ao homem e aos outros organismos, sob a forma de lagos e rios, ou como

umidade presente no solo, na atmosfera e como componente dos mais diversos organismos (RIVIÈRE, 1989a).

Figura 2 - Distribuição da água no planeta



Fonte: Domínio público (2000)

3.2 Manejo Racional dos Recursos Hídricos

Na grande maioria dos países do Continente Africano, o consumo de água per capita atinge uma média de 10 a 15 litros por dia; já em Nova York o consumo exagerado atinge 2.000 litros per capita por dia de água doce e potável (IAV, 2000).

Segundo dados oficiais da Organização Pan-americana da Saúde (OPS) e da Organização Mundial da Saúde (OMS) (CEPIS, 1999), apenas 75% da população mundial têm acesso à água potável. A agricultura responde por 93,4% do consumo de água, a indústria por 3,8% e apenas 2,7% destina-se ao consumo doméstico. Cabe ainda destacar outros dados relevantes relacionados a condição da água no planeta, tais como:

- Apenas 0,00378% da água está disponível para consumo humano;
- A pobreza, combinada com os baixos índices de saneamento básico, é responsável pela morte de uma criança a cada 10 segundos. Hoje morrem 10 milhões de pessoas/ano (a metade com menos de 18 anos) por causa de doenças evitáveis por medidas de saneamento básico;

- 25% da população dos países em desenvolvimento não tem acesso a água potável e muito menos a rede de esgoto;
- 80% das doenças e 33% das mortes são devidas a crise da água potável;
- 65% das internações hospitalares e 80% das consultas médicas são função de doenças de veiculação hídrica;
- Nos países em desenvolvimento (áreas urbanas), 82,5% da população tem acesso a redes de água e 63,1% a redes de esgotos, mas 70% dos pobres não têm água tratada e 80% estão sem redes de esgoto;
- Em 1996, a demanda mundial por água era de 5.692 km³/ano contra uma oferta de 3.745 km³/ano (aproveitamento do potencial viável estimado em 14.000 km³/ano);
- A oferta hídrica mundial só atende a cerca de 66% da demanda dos usos múltiplos.

No Brasil encontram-se alguns dos maiores recordes com relação à água: maior rio do mundo (rio Amazonas com 7.025 km de extensão), quedas d'água com os maiores fluxos de água (Guaíra com 13.301.000 m³/s de água - hoje encoberta sob o lago de Itaipu, queda de Paulo Afonso no rio São Francisco com 2.830.000 m³/s, Urubupungá no rio Paraná com 2.745.000 m³/s). Destaca-se ainda um dos maiores lagos do planeta, a Lagoa dos Patos com 10.144 km² de área e com uma profundidade de 6,75 m (IAV, 2000).

Em uma pesquisa realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 1992), entre 1989 e 1990 em 4.425 cidades, encontra-se um sério alerta: o precário saneamento básico é responsável por 80% das doenças que afetam a população e 65% das internações hospitalares de crianças. A mesma pesquisa revela outros dados importantes ligados à água no país, tais como:

- 30 milhões de habitantes dos 150 milhões do Brasil não recebem água tratada;
- 92 % do esgoto produzido no país é lançado nos rios e no mar sem qualquer tratamento, isto representa um volume de 10 bilhões de litros/dia;
- Os rios são responsáveis por 51 % do consumo de água no país.

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 "minando-se" a água subterrânea; e pode-se conservar as reservas já exploradas, seja aumentando 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.

Entretanto, assegurar a quantidade de água necessária não basta. É preciso preservar a qualidade da água. Milhares de lagos estão atualmente sujeitos à acidificação ou à eutrofização. É possível restaurar a qualidade da água nos lagos, porém, por vezes, através de processos morosos e de custos elevados. Embora a poluição dos lagos e dos rios seja potencialmente reversível, o mesmo não acontece com a água subterrânea. Como a água subterrânea não recebe oxigênio atmosférico, sua capacidade de autodepuração é muito baixa, pois o trabalho de degradação microbiana demanda oxigênio. A única abordagem racional é evitar a contaminação. Por sua vez, a recuperação da qualidade da água do oceano é incomparavelmente mais difícil do que a dos lagos e rios, segundo experiência já adquirida, que dita ainda mais precaução nesse caso (RIVIÈRE, 1989b).

Torna-se, portanto, evidente a necessidade de uma abordagem integrada. Expectativas sócio-econômicas devem harmonizar-se com as expectativas ambientais, de modo que os centros urbanos, os centros de produção de energia, as indústrias, os setores agrícola, florestal, de pesca e de vida silvestre possam coexistir. Nem sempre o fato de existirem interesses variados significa que devam ser conflitantes. Podem ser sinérgicos. Por exemplo, controle de erosão caminha junto com reflorestamento, prevenção de enchentes e conservação de água.

Um projeto de manejo de recursos hídricos deveria visar mais um aumento da eficiência no consumo de água do que um aumento da disponibilidade de água. O aumento do fornecimento de água é usualmente mais caro e apenas adia uma crise. Para alguns países, aumentar a eficiência é, por vezes, a única solução. A irrigação pode ser e geralmente é terrivelmente ineficiente. Na média mundial, menos de 40% de toda a água usada na irrigação é absorvida pela plantação (CEPIS, 1999). O resto se perde. Um dos problemas trazidos pela irrigação excessiva é a salinização. À

medida que a água se evapora ou é absorvida pelas plantas, uma quantidade de sal se deposita e se acumula no solo. Novas técnicas de irrigação localizada, fornecem boa maneira de conservar a água.

A captação de água subterrânea para aumentar o fornecimento de água deve ser feita com a garantia de que o aquífero de onde se retira a água será reabastecido. Como a água subterrânea se mantém fora do alcance de nossas vistas, pode se tornar poluída gradualmente sem excitar o clamor público, até que seja tarde demais para reverter o dano causado pela poluição.

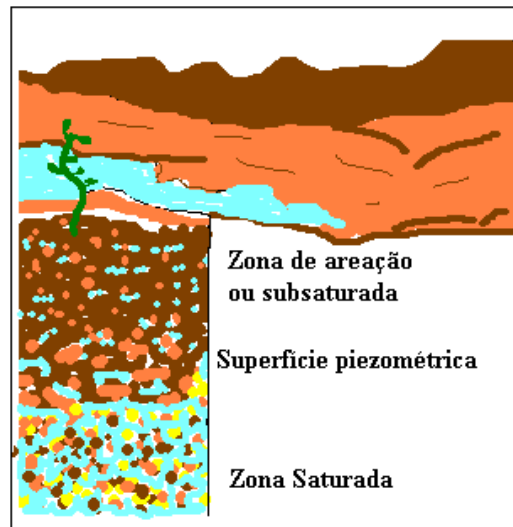
A adoção de programas de prevenção de poluição é preferível à utilização de técnicas de remoção de contaminantes em água poluída, uma vez que a tecnologia de purificação é cara e complexa à medida que o número de contaminantes cresce.

Paralelo a tudo isso, existe a necessidade de se realizar mais pesquisa sobre a hidrosfera, com estudos sobre a ecologia e a toxicologia da vida marinha; sobre o ciclo hidrológico e os fluxos entre seus compartimentos; sobre a extensão das reservas subterrâneas e sua contaminação; sobre as interações entre clima e ciclo hidrológico (RIVIÈRE, 1989b).

3.3 A Água Subterrânea

Da parte da água da precipitação atmosférica que se infiltra no solo é possível distinguir duas zonas: a saturada e a zona de aeração, ou subsaturada (Figura 3). Encontram-se separadas pela chamada superfície piezométrica, designada também por lençol freático ou por nível hidrostático, cuja profundidade varia com as mudanças climáticas, com a topografia da região e com a permeabilidade das rochas (HOSANA, 1997a).

Figura 3 - Comportamento de água em solo arenoso



Fonte: Domínio público (2000)

A zona inferior é denominada zona de saturação, porque todos os poros e interstícios da rocha se acham saturados de água. Reserva-se a expressão água subterrânea à água situada abaixo da superfície piezométrica. Aquela contida na zona de aeração dá-se a designação de água edáfica (do grego edafos, solo).

A água edáfica pode apresentar-se sob três maneiras diferentes: água gravitativa é a que escoar terra adentro, logo após a precipitação ou fusão das neves; à água aderida às partículas do solo por forças de adsorção, pode-se dar o nome de água pelicular; e a retida em interstícios microscópicos, presa por forças capilares, é chamada de água capilar.

O excesso de água da zona saturada, proveniente das precipitações atmosféricas, migrará em direção dos vales indo alimentar as correntes de água. Graças à lentidão deste movimento pelo atrito às partículas rochosas, a zona saturada acompanha a topografia; sendo alta a permeabilidade do terreno, tende a tornar-se mais plana, em função do rápido escoamento (ROSA FILHO & BARROS, 1986).

A velocidade com que a água subterrânea migra varia de alguns centímetros a 6 metros por dia. Excepcionalmente pode alcançar até 120 metros por dia. O plano horizontal que tangencia as partes mais baixas (não cobertas pelas águas, como são os leitos dos rios), que drenam uma determinada região, denomina-se nível de drenagem. Em regiões calcárias, graças à formação de cavernas subterrâneas, que são escoadouros naturais das águas de infiltração, o nível de drenagem é inferior ao

nível dos rios, que muitas vezes desaparecem solo adentro nos chamados sumidouros, podendo nascer como fonte ressurgente longe do lugar da infiltração (CUSTODIO & LLAMAS, 1983).

Em regiões mais secas ou muito permeáveis, desce até 100 metros, podendo haver variações da profundidade conforme a estação do ano, pois sabemos que, na época de estiagem, a grande evaporação e a ausência de chuvas determinam o abaixamento da superfície piezométrica. A profundidade máxima atingida pela água subterrânea é muito variável e depende essencialmente da rocha que a contém (HOSANA. 1997b). Em rochas cristalinas a capacidade de armazenar água diminui rapidamente em relação à profundidade, enquanto que, em rochas sedimentares, principalmente nas de origem clástica, se encontra uma certa porosidade mesmo em grandes profundidades (alguns milhares de metros), o que permite ainda o armazenamento de água subterrânea em tal região.

Nos extensos baixios, a água subterrânea não se movimenta, mas, onde houver elevações, o peso da água das áreas mais elevadas faz com que se verifique a movimentação lenta da água em profundidade, calcada pela pressão hidrostática. Esse movimento pode ser da ordem de grandeza de alguns milímetros por ano. A água não se infiltra indefinidamente terra adentro, porque, nas regiões mais profundas, tanto os poros como os capilares vão se tornando cada vez menores, fechando-se graças à compressão causada pelo peso das rochas superiores (CUSTODIO & LLAMAS, 1983).

3.4 A Qualidade da Água Subterrânea

A partir dos anos 90 a preocupação com a água subterrânea aumentou de forma considerável no Brasil; algo até então inimaginável, uma vez que o país detém o maior potencial hídrico superficial do planeta. Como o consumo de água superficial tem ocorrido de forma pouco racional, com desperdícios que vão desde o sistema de captação, tratamento e distribuição até aquele praticado pelo próprio consumidor/usuário, os problemas de abastecimento urbano têm crescido de forma preocupante. Assim, atenções crescentes têm se voltado para a água subterrânea, cuja reserva brasileira é expressiva e, por isso mesmo, estratégica para a sobrevivência das gerações vindouras. No entanto, a preservação dos mananciais

subterrâneos depende, em essência, das práticas/atividades que são adotadas na superfície, uma vez que existem inúmeros sistemas de comunicação entre as águas superficiais e as águas subterrâneas. Dentre esses sistemas, destacam-se as áreas de recarga de aquíferos, locais que favorecem a movimentação mais rápida de produtos poluentes até a zona saturada. Nesse contexto, todas as atividades e, dentre elas as de origem agrícola, oferecem riscos à qualidade da água subterrânea, principalmente pelo uso de agrotóxicos que, juntamente com muitos de seus metabólitos, e fertilizantes nitrogenados, que dão origem ao nitrato, podem causar danos à saúde humana (GOMES, 2000).

Existem dois tipos de despejos que contaminam a água: o lixo orgânico - proveniente de excrementos humanos e de animais e do descarte das partes fibrosas de vegetais colhidos e não consumidos - e o lixo industrial, gerado pelos processos industriais e pelo descarte que, cedo ou tarde, se faz dos produtos fabricados pelas indústrias.

O lixo orgânico é biodegradável, mas pode representar um grande problema: a biodegradação excessiva pode levar à falta de oxigênio em rios e lagos. Os excrementos humanos contêm alguns dos mais nocivos contaminantes conhecidos, incluindo microrganismos patogênicos como os agentes da cólera, da febre tifoide e da desinteria.

O lixo industrial pode incluir metais pesados e grandes quantidades de material sintético, como os pesticidas. São materiais que se caracterizam pela toxicidade e pela persistência, não sendo rapidamente degradados em processos naturais ou nas usinas de tratamento de esgotos. Materiais industrializados tais como vidro, concreto, papel, ferro e alguns plásticos são relativamente inócuos, ou por serem inertes, ou biodegradáveis, ou pelo menos não-tóxicos.

Muitos poluentes penetram nas águas subterrâneas através de descargas de fontes localizadas - como canalizações de esgotos - ou de fontes não localizadas, como é o caso das águas de escoamento, que transportam pesticidas e fertilizantes. Contaminantes também podem penetrar no ciclo da água através da atmosfera. O mais conhecido entre eles talvez seja o ácido resultante da emissão de óxidos de nitrogênio e dióxido de enxofre pela indústria e pelos motores dos automóveis. A deposição de ácido pode ser "seca" (quando os gases atingem diretamente o solo ou

a vegetação) ou "úmida" (quando o ácido se dissolve na chuva). Em áreas de pastoreio intensivo, parte da amônia liberada de esterco é introduzida na atmosfera e parte é convertida por micróbios no solo em nitratos solúveis. Como o nitrato tem alta mobilidade, por ser solúvel em água e não se ligar a partículas do solo, tornou-se um dos principais poluentes da água subterrânea (RIVIÈRE, 1989b).

NODERMANN e REBOUÇAS (1986) lembram a influência do clima na qualidade das águas subterrâneas. No entanto, a ação do homem introduz trocas progressivas no ciclo hidrológico em algumas regiões, com lançamento de poeiras industriais, materiais em suspensão e gases (FOSTER & ROCHA, 1988), pelas atividades de origem urbana (PACHECO & MENDES, 1988), agrícola (REBOUÇAS *et al.*, 1986) ou industrial (BERNARDES JÚNIOR & CLEARY, 1988), modificando, em menor ou maior grau de intensidade, as condições naturais existentes. Assim, as atividades antrópicas estariam determinando a qualidade de água, em oposição à qualidade natural, como resultado da percolação no terreno.

3.5 Doenças Transmitidas pela Água

As doenças de veiculação hídrica ainda representam um desafio significativo para as autoridades de saúde pública e para as empresas responsáveis pelo abastecimento de água. A presença de microrganismos patogênicos na água de consumo deve-se geralmente à deficiência dos processos de tratamento de desinfecção e filtração ou a problemas no sistema de distribuição (CHRISTMAN, 1998).

Na maioria dos casos, os surtos de doenças transmitidas pela água aparecem em sistemas de abastecimento com inadequada ou ausência de desinfecção. Na ausência de barreiras eficazes, surgem questionamentos sobre patógenos emergentes, como o *Cryptosporidium*, que podem contaminar até mesmo sistemas de abastecimento de água considerados de alta qualidade (CRAUN *et al.*, 1994).

Dentre os agentes patogênicos transmitidos pela água, incluem-se: bactérias, vírus e protozoários, cada um com diversas espécies identificadas. As bactérias e os vírus contaminam tanto as águas superficiais como as subterrâneas, já os protozoários aparecem predominantemente em águas superficiais (TARDIFF, 1993).

A Tabela 1 apresenta os principais agentes patogênicos transmitidos pela água.

Tabela 1 - Principais Agentes Patogênicos Transmitidos pela Água		
Bactérias	Vírus	Protozoários
<i>Campylobacter</i>	<i>Norovirus</i>	<i>Cryptosporidium parvum</i>
<i>Escherichia coli</i>	<i>Rinovirus</i>	<i>Giardia lamblia</i>
<i>Salmonella sp</i>	<i>Hepatovirus</i>	<i>Entamoeba histolytica</i>
<i>Salmonella typhi</i>	<i>Enterovirus</i>	
<i>Salmonella paratyphi</i>		
<i>Shigella</i>		
<i>Yersinia</i>		
<i>Vibrio sp</i>		
<i>Legionella</i>		
<i>Vibrio cholerae</i>		

Fonte: Adaptado de CHRISTMAN, 1998.

3.6 A Desinfecção e a Evolução Microbiológica

A desinfecção é a etapa do tratamento responsável pela inativação dos microrganismos patogênicos realizada por intermédio de ação física e/ou química. Ainda que nas etapas anteriores da potabilização, haja redução do número dos microrganismos agregados às partículas coloidais, este não é o objetivo principal dos demais processos e operações unitárias. Em uma segunda vertente do tratamento, a destruição completa de todas as formas vivas, presentes nas águas naturais, denomina-se esterilização.

Ao comparar as dimensões médias dos flocos que atingem as unidades filtrantes com as dos microrganismos presentes em águas naturais, a desinfecção torna-se especialmente relevante. Enquanto os primeiros apresentam dimensões de 0,002 a 0,004 mm (2 a 4 μm), para as bactérias do gênero *Salmonella* e do grupo *Coliforme* variam entre 0,5 a 2 μm e os vírus, entre 0,025 a 0,1 μm (VALENÇA, 1992). Neste contexto, o desempenho das unidades potabilizadoras, embora favoreça a remoção dos cistos de *Giardia* - cujas dimensões são da ordem de 15 μm - nas etapas precedentes à desinfecção, interfere em menor monta com os cistos de *Cryptosporidium* (4 a 6 μm de diâmetro). Desta forma, é facilmente compreensível a relação intrínseca do desenvolvimento do processo de desinfecção com a evolução microbiológica sanitária e o fato de que esta etapa da potabilização deva ser considerada como indispensável e prioritária sempre que a água estiver contaminada,

bem como, com o objetivo de minimizar eventuais contaminações, na rede de distribuição, do efluente da estação de tratamento (LIBÂNIO *et al.*, 2000).

Na antiguidade já existiam preocupações quanto ao uso da água e à transmissão de doenças a ela vinculadas. Conforme Azevedo Netto (1984), documentos em sânscrito datados de 2000 a.C. aconselhavam o acondicionamento da água em vasos de cobre, à sua exposição ao sol e filtragem através do carvão, ou ainda, pela imersão de barra de ferro aquecida, bem como o uso de areia e cascalho para filtração da água. Por volta de 1.500 a.C., os egípcios utilizavam a decantação. Bem mais tarde, a partir de 450 a.C., poços artesianos eram escavados na busca por suprimento de água em regiões áridas.

BRANCO (1986) registra a observação do cirurgião francês Ambroise Paré que, já no século XVI, apontava, como causa de doenças transmitidas por certas águas estagnadas, a presença de animais venenosos, tais como cobras, sapos, vermes e outros.

A invenção do microscópio, na virada para o século XVII, feito creditado ao cientista holandês Zacharias Jansen, possibilitou a descoberta de um mundo, até então, invisível para o homem, mais tarde potencializado pelas descrições das estruturas celulares da matéria viva por Robert Hooke, em 1664. Mas foi, sem dúvida, o trabalho do também holandês Antoni van Leeuwenhoek que se constituiu no grande marco da ciência da microbiologia. Leeuwenhoek, utilizando um microscópio construído por si próprio, com incrível capacidade de ampliação para a época - 200 vezes, reportou as primeiras descrições detalhadas de protozoários e bactérias presentes na água, por meio de cartas enviadas à *Royal Society of London*, em 1673.

Embora estas descobertas tenham ocorrido quase que simultaneamente, pouco se avançou em termos da compreensão da natureza e da importância destes microrganismos ao longo dos duzentos anos seguintes (MADIGAN, 1996).

Somente no século XIX, a água foi reconhecida como meio de transmissão de doenças. Em 1849, Dr. John Snow estabeleceu ser a água o meio pelo qual a cólera era transmitida ao ser humano. Segundo WHITE (1986), Snow comprovou sua teoria em um episódio acontecido em 1854, em Londres. Após mapear as mortes ocorridas,

durante a epidemia de cólera, Snow constatou que todas foram verificadas em um círculo de 250 jardas, em torno da bomba de Broad Street. Assim, ao remover a bomba manual da estação de Broad Street Pump, ele impediu a comunidade local de se servir desta fonte. Este ato resultou na estabilização imediata do número de infectados pela epidemia de cólera que, até então, ceifara cerca de 500 vidas.

3.7 Desinfecção com Cloro

Há 90 anos a cloração desempenha proteção importante dos sistemas de abastecimento de água potável contra as enfermidades infecciosas transmitidas pela água. A filtração e a desinfecção com cloro tem sido responsável por grande parte dos 50% de aumento de expectativa de vida nos países desenvolvidos no século XX. Este fato motivou a revista “Life” a citar recentemente a filtração e a cloração da água potável como “provavelmente o mais significativo avanço em saúde pública do milénio” (CHRISTMAN, 1998).

A desinfecção, tendo como agente químico o cloro, data de 1825, na França, tendo sido utilizado gás cloro, dissolvido em uma solução alcalina de potássio, denominada “Javelle Water”, para desinfecção de esgotos (HAAS, 1990). Durante a epidemia de cólera na Europa, em 1831, o mesmo produto foi utilizado como agente profilático. Com relação àquela época, WHITE (1986) relata o uso do cloro como germicida, realizado por Semmelweis, em 1846. Temendo contrair a febre observada nas crianças recém-nascidas, na maternidade do Hospital Geral de Viena, Semmelweis lavava as mãos com água clorada, após cada cumprimento às mães destas crianças, acreditando serem estas as vias potenciais de transmissão.

A primeira sugestão de cloração das águas foi também apontada por WHITE (1986) a partir do depoimento do Dr. Robley Dunlinsgen, em seu texto “Saúde Humana”, publicado na Filadélfia, em 1835: *Para tornar a água de cisternas potável, tem sido proposto adicionar pequena quantidade de cloro, ou de cloreto, em um tanto suficiente para destruir a agressividade do fluído.*

O emprego da cloração em águas de abastecimento parece ter sido precedido pela desinfecção de esgotos, cujos primeiros relatos reportam-se a 1831 e 1832. Após a

constatação empírica elaborada pelo médico inglês John Snow, em 1854, iniciou-se o processo de desinfecção de águas para consumo humano, no início deste século.

No fim do século XIX, a geração eletrolítica do cloro e de formas de hipoclorito tornou-se competitiva economicamente, viabilizando sua utilização nos processos de desinfecção. O crescimento do uso do cloro na desinfecção deu-se tanto para águas destinadas ao consumo humano quanto para os esgotos.

A primeira implantação de um sistema de cloração, em estações de tratamento de água, ocorreu em Bubbley Creek, Chicago, e na Jersey City Water Company, em 1908. Poucos anos depois, o cloro foi introduzido como desinfetante em Nova York, Montreal, Milwaukee, Cleveland, Nashville, Baltimore, Cincinnati e em outras cidades, totalizando, em 1918, um número superior a 1000 sistemas de abastecimento, perfazendo uma vazão total da ordem de 132 m³/s (MONTGOMERY, 1985).

O cloro, sob diversas formas, é o agente químico desinfetante mais difundido no tratamento de águas de abastecimento e águas residuárias. Além de um espectro bastante amplo de ação germicida, o cloro apresenta a característica ímpar de formar compostos que permanecem na água, proporcionando um residual desinfetante ativo na desinfecção ao longo do sistema de distribuição ou mesmo nos reservatórios domiciliares dos pontos de consumo.

O objetivo primordial do uso do cloro em sistemas de abastecimento de água é a desinfecção. Contudo, devido ao seu alto poder oxidante, sua aplicação nos processos de tratamento tem servido a propósitos diversos como controle de sabor e odor, prevenção de crescimento de algas, remoção de ferro e manganês, remoção de cor e controle de crescimento de biofilmes em tubulações.

A cloramina, composto de cloro e amônia, foi empregada pela primeira vez em Ottawa, Canadá, e Denver, Colorado, em 1917. O emprego deste desinfetante foi ampliado até meados do século XX, com vistas a redução de sabor e de odor na água potável. Durante a 2ª Guerra Mundial, a escassez de amônia disponível para preparo de cloraminas afetou sobremaneira seu emprego, tornando-se um produto de uso bastante restrito. Atualmente, tem sido objeto de estudos tendo em vista a

característica de formação de subprodutos da desinfecção com cloro (MONTGOMERY, 1985).

As mais importantes características do cloro são seu potencial germicida de amplo espectro e sua persistência nos sistemas de distribuição de água, além de sua capacidade de contemplar, eficaz e economicamente, muitas outras preocupações relacionadas com o tratamento de água. Os compostos baseados em cloro são os únicos desinfetantes importantes que apresentam propriedades residuais duradouras (CHRISTMAN, 1998).

A popularidade do cloro na desinfecção de água encontra justificativa em um estudo da Escola de Medicina da Universidade de Harvard, J. Carrell Morris, identificou muitos benefícios do cloro no tratamento de água (MORRIS, 1985):

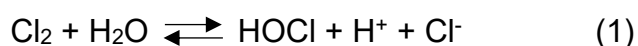
- i) Potente germicida - têm-se demonstrado que o uso do cloro reduz o nível dos microrganismos patogênicos em água potável até níveis quase indetectáveis;
- ii) Qualidades residuais - o cloro produz uma ação desinfetante residual estável, única dentre os desinfetantes de água disponíveis em grande escala;
- iii) Controle de sabor e odor - a cloração da água reduz o sabor e odor. O cloro oxida muitas substâncias que, presentes na água, tais como secreções de algas e os odores da vegetação em decomposição;
- iv) Controle do crescimento biológico - a potente ação germicida do cloro elimina as bactérias e algas. O cloro controla estes organismos que em geral crescem em algumas unidades das estações de tratamento;
- v) Controle químico - o cloro no tratamento de água destrói o sulfeto de hidrogênio e elimina o amoníaco e outros compostos nitrogenados que dão sabor desagradável e dificultam a desinfecção.

3.8 Mecanismos de Ação do Cloro

Em 1881, o bacteriólogo alemão Robert Koch demonstrou, em condições controladas de laboratório, que o hipoclorito podia destruir cultivos puros de bactérias. Grande parte das investigações sobre desinfecção com o cloro realizada, desde os anos quarenta até os setenta, com ênfase em bactérias, proporcionou observações sobre a maneira como o cloro inativa estes microrganismos. Observou-se que as células

bacterianas em contato com água clorada liberam ácidos nucleicos, proteínas e potássio; as funções das membranas, tais como a respiração e o transporte ativo eram mais afetadas pelo cloro que pelos processos citoplasmáticos, tais observações dirigiram a atenção dos pesquisadores para a superfície da célula bacteriana, com a hipótese de que, diante de uma pressão ambiental, a parede da célula bacteriana poderia interagir com o cloro. A exposição ao cloro parece causar alterações físicas, químicas e bioquímicas na parede da célula. Desta maneira destrói-se a barreira protetora da célula, destruindo as funções vitais e produzindo a morte do microrganismo. Uma possível sequência dos eventos durante a cloração seria: a eliminação da barreira imposta pela parede celular mediante reações do cloro com determinados sítios da superfície da célula; a liberação de elementos constituintes celulares vitais; o término das funções associadas com a membrana; fim das funções celulares. Ao longo desta sequência de eventos o microrganismo é inativado, significando que não mais é capaz de causar enfermidade alguma (CHRISTMAN, 1998).

No Brasil, a desinfecção de água para consumo humano é usualmente realizada com cloro na forma de gás cloro, hipoclorito de sódio (líquido) ou hipoclorito de cálcio (sólido). Estes compostos, reagem com a água formando ácido hipocloroso segundo as reações:



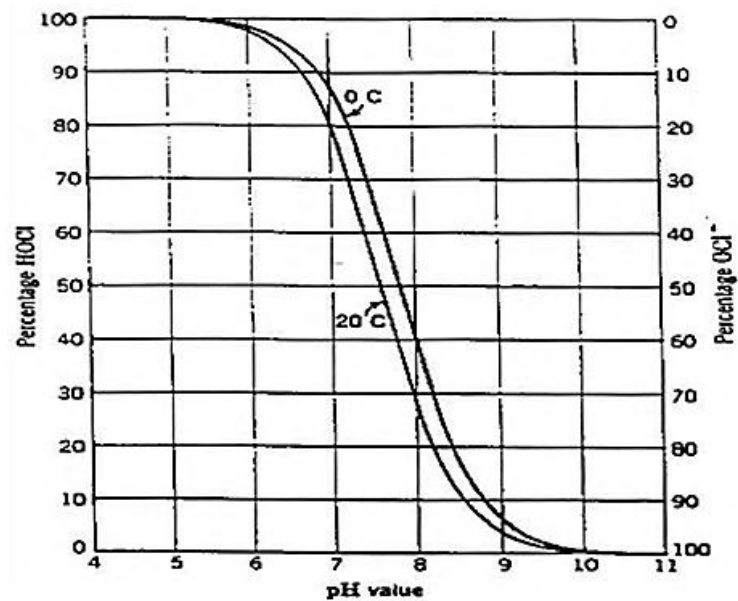
O ácido hipocloroso dissocia-se segundo a reação:



A quantidade de HOCl e OCl⁻ em equilíbrio depende do pH e é chamada de cloro residual livre disponível.

A Figura 4 representa a distribuição percentual destas espécies em função do pH.

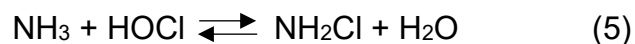
Figura 4 - Distribuição de HOCl e OCl em água em função do pH



Fonte: MORRIS (1982)

O ácido hipocloroso tem maior poder desinfetante que o íon hipoclorito. Por esta razão é aconselhável que se faça a desinfecção em pH não superior a 7.

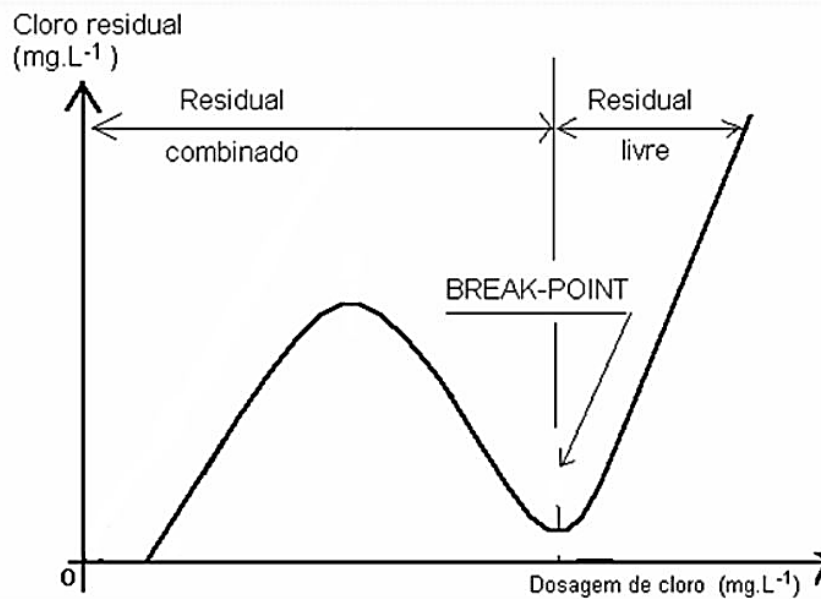
O cloro reage ainda com a matéria orgânica presente na água, formando compostos organoclorados e cloraminas, conhecidos como cloro residual combinado. As reações com amônia são:



As monoclорaminas apresentam ação desinfetante, inferior ao íon hipoclorito. A forma de dicloraminas e tricloraminas é desaconselhável, pois o poder desinfetante é menor e além disso apresenta odor forte.

Aumentando-se a dosagem de cloro ocorre a destruição das cloraminas com formação de óxidos de nitrogênio e nitrogênio gasoso. A curva genérica representativa da cloração está apresentada na Figura 5.

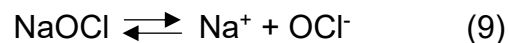
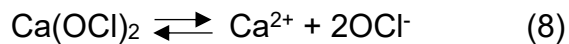
Figura 5 - Cloração ao Break Point



Fonte: Adaptado de MACEDO (1999)

Depende-se, portanto, que a cloração de águas destinadas ao consumo humano é feita com dosagem superior ao break point.

Quando o cloro é adicionado na forma de sais de hipoclorito, verificam-se as seguintes reações de equilíbrio:



As mesmas reações de equilíbrio são estabelecidas, indiferentemente das espécies de cloro adicionadas, quer cloro gasoso ou hipoclorito. A diferença significativa ocorre nos efeitos sobre o pH e sua influência na quantidade relativa de OCl^- e HOCl em equilíbrio. O cloro tende a reduzir o pH, enquanto o hipoclorito tende a elevar o pH.

3.9 Fatores Intervenientes na Eficiência da Desinfecção

De uma maneira simplificada, podem ser destacados os fatores abaixo relacionados, como intervenientes na eficiência de um sistema de desinfecção.

- i) Características do desinfetante - os mecanismos de ação e as propriedades relacionadas à interação do desinfetante com as características físico-químicas e microbiológicas da água;

ii) Concentração do desinfetante e tempo de contato (CT) - com base na qualidade final desejada e na porcentagem de inativação de determinados microrganismos, existem relações empíricas que equilibram a dose e o tempo de contato necessários;

iii) Características da água - com relação às características físicas, a turbidez desempenha papel preponderante na eficiência da desinfecção, promovendo efeito escudo sobre os microrganismos, protegendo-os da ação do desinfetante. Diversas pesquisas confirmaram uma menor remoção de coliformes na desinfecção, com compostos de cloro, quando a turbidez elevava-se acima de 1,0 uT. O próprio padrão de potabilidade vigente, reduzindo de 5,0 para 1,0 uT, reforça esta afirmação. Vale ressaltar que alguns estados americanos recomendam 0,2 uT como forma de assegurar também a inativação de vírus.

Além da turbidez, interferem na eficiência da desinfecção:

- a presença de matéria orgânica, frequentemente associada à cor verdadeira, aderindo aos microrganismos e protegendo-os da ação do desinfetante ou reagindo com este para formar subprodutos;
- a presença de compostos inorgânicos que reagem com o desinfetante;
- o pH, relacionando-se às formas de dissociação química do desinfetante;
- a temperatura da água.

iv) Características dos microrganismos - a resistência relativa dos microrganismos ao desinfetante é função da espécie, da forma - encistada ou não - e da concentração dos mesmos na massa líquida.

v) Homogeneidade da dispersão do desinfetante na massa líquida - a conjunção de vários destes fatores são contemplados na lei de Chick-Watson, conforme a equação (10) (HAAS *et al.*, 1995):

$$\ln (N/N_0) = -kC^n t \quad (10)$$

Em que:

N , N_0 – número de organismos viáveis, no início e no tempo t ;

C – concentração do desinfetante;

n – coeficiente de diluição, relacionado com a dispersão do desinfetante na massa líquida;

t – tempo de exposição;

k – constante de inativação.

Para o tratamento eficaz da água, torna-se necessário uma exposição adequada do desinfetante e uma dose suficiente por um determinado período de tempo. Nos anos 80, diversos estudos permitiram o desenvolvimento dos valores CT para diversos desinfetantes (CHRISTIMAN, 1998). O valor CT representa a combinação da dose de desinfetante e o tempo de contato a uma quantidade mínima de desinfetante residual. Matematicamente, representa-se como:

$$CT = \text{concentração} \times \text{tempo}$$

Em que:

Concentração – concentração final de desinfetante em mg/l;

Tempo – tempo mínimo de exposição em minutos.

A Tabela 2 e a Tabela 3 mostram dados de CT para diversos desinfetantes, relacionados com *Giardia* e vírus.

Tabela 2 - Valores de CT para a Redução de 3 logs de *Giardia lamblia*

Desinfetante	pH	Temperatura (°C)					
		1	5	10	15	20	25
Cloro livre	6	165	116	87	58	44	29
	7	236	165	124	83	62	41
	8	346	243	182	122	91	61
	9	500	353	265	177	132	88
Ozônio	6-9	2,90	1,90	1,40	0,95	0,72	0,48
Dióxido de cloro	6-9	63	26	23	19	15	11
Cloraminas	6-9	3800	2200	1850	1500	1100	750

Fonte: Adaptado do Manual de Orientação da EPA, 1999.

Tabela 3 - Valores de CT para Inativação de Vírus

Desinfetante	pH (6-9) Redução (logs)	Temperatura (°C)					
		0,5	5	10	15	20	25
Cloro livre	2	6	4	3	2	1	1
	3	9	6	4	3	2	1
	4	12	8	6	4	3	2
Ozônio	2	0,9	0,6	0,5	0,3	0,25	0,15
	3	1,4	0,9	0,8	0,5	0,4	0,25
	4	1,8	1,2	1,0	0,6	0,5	0,3
Dióxido de cloro	2	8,4	5,6	4,2	2,8	2,1	-
	3	25,6	17,1	12,8	8,6	6,4	-
	4	50,1	33,4	25,1	16,7	12,5	-
Cloraminas	2	1243	857	643	428	321	214
	3	2063	1423	1067	712	534	356
	4	2883	1988	1491	994	746	497

Fonte: Adaptado do Manual de Orientação da EPA, 1999.

3.10 Indicadores da Eficiência da Desinfecção

As novas tendências internacionais de regulamentação dos padrões de potabilidade da água indicam uma preocupação crescente com a presença de novos contaminantes orgânicos e inorgânicos, bem como com a introdução, na água, de vários subprodutos do próprio processo de tratamento. Nesse particular, objetiva-se controlar em especial os subprodutos introduzidos pelos processos de desinfecção, seja pelo emprego do cloro, seja pela utilização dos denominados desinfetantes alternativos aos compostos de cloro.

Paralelamente, observa-se em nosso País um progressivo comprometimento da qualidade das águas dos mananciais, notadamente nas regiões mais industrializadas e urbanizadas, além daquelas onde se verifica o uso intensivo de biocidas na agropecuária. Desta forma, associadas à necessidade de atualização e modernização dos padrões de potabilidade vigentes, surgirão novas exigências para as instalações de tratamento existentes e para aquelas a serem implantadas (LIBÂNIO, 2000).

As unidades hoje existentes, na sua grande maioria, são planejadas apenas para a clarificação e a desinfecção das águas, sendo incapazes de remover a maior parte das novas substâncias, cujo controle é recomendado pela OMS em suas diretrizes de 1993 (GALAL-GORCHEV, 1993).

A prática de controle microbiológico de qualidade da água de consumo no Brasil apoia-se no controle da presença de bactérias dos grupo coliformes, seguindo tendência internacional em vigor até o final da década de 80. Tal controle baseia-se na lógica de organismos indicadores, a partir do pressuposto de que, dadas as características dos coliformes, sua ausência nas águas de abastecimento - sobretudo dos coliformes fecais - significaria uma garantia sanitária da segurança microbiológica da água, em termos de saúde pública.

A detecção de coliformes totais e fecais, qualitativa ou quantitativa, pode ser realizada pelo método dos tubos múltiplos, através da contagem em membrana filtrante e em substrato cromogênico. Este último apresenta como principal vantagem o tempo de resposta de 24 horas, uma vez que o mesmo realiza a determinação simultânea de *E. coli* e coliformes totais, prescindindo de ensaios confirmatórios (BASTOS, 1999).

Clostridium perfringens tem sido utilizado como indicador bacteriológico de contaminação fecal, pois sua incidência no meio aquático está constantemente associada a dejetos humanos, sendo sua presença detectada em fezes, esgotos e águas poluídas. Por serem esporuladas, estas bactérias apresentam grande resistência aos desinfetantes e às condições desfavoráveis do meio ambiente. A excepcional longevidade de seus esporos na água é útil na detecção de contaminação fecal remota em situações em que outros indicadores menos resistentes, como *E. coli*, já não estão mais presentes.

Os *Enterococos* fecais constituem um grupo de bactérias reconhecidas como indicadores de contaminação fecal desde o início deste século, porém sua utilização só se fez efetiva após 1950. O habitat normal deste grupo de bactérias é o trato intestinal humano e de outros animais, não ocorrendo, normalmente, em águas e solos de áreas não poluídas. Como não se reproduzem em águas poluídas, sua presença é indicativa de contaminação fecal recente. Este grupo de bactérias engloba várias espécies que apresentam diferentes graus de resistência às variações ambientais e origens fecais específicas.

Colifagos são bacteriófagos que infectam e replicam em cepas hospedeiras de *E. coli* e parecem estar presentes na amostra em estudo sempre que *E. coli* é isolada, por esta razão podem servir como indicadores de poluição de origem fecal. São utilizados

na avaliação da qualidade da água com a vantagem de fornecer resultados após um tempo mínimo de 4 a 6 horas.

3.11 Subprodutos da Desinfecção com Cloro

Em 1974, cientistas da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA) determinaram que o cloro reagia com certos materiais orgânicos durante a desinfecção da água formando trihalometanos (THMs), em particular o clorofórmio e outros THMs em quantidades menores. Em paralelo, estudos toxicológicos realizados sobre o clorofórmio sugeriam que o mesmo fosse cancerígeno para animais em laboratório, porém, apenas em níveis muito maiores que os encontrados na água potável (CHRISTMAN, 1998).

Em 31 de março de 1998 a EPA publicou uma nota sobre a "disponibilidade de dados de subprodutos de desinfetantes e desinfecção". Nesta nota a EPA propunha mudanças nos níveis máximos de contaminantes (NMC) para os subprodutos da desinfecção baseadas em novas investigações recentemente disponíveis. A EPA fixa o NMC em que não se espera efeitos adversos conhecidos ou previstos sobre a saúde, e que permita uma margem de segurança adequada. O aumento do NMC para o clorofórmio de 0 a 300 ppb foi a mudança mais importante desta nota em relação ao cloro. Para propor esta mudança, a EPA seguiu as recomendações de um plantel de especialistas convocados pelo Instituto Internacional de Ciências da Vida. Este plantel concluiu que o clorofórmio tem "probabilidade de ser cancerígeno acima de uma dose determinada, mas pouca probabilidade de ser cancerígeno abaixo desta dose" (ILSI, 1997).

Outros grupos também têm examinado os dados sobre os "subprodutos da desinfecção com cloro" (SDC) e o câncer. Em 1990 a Agência Internacional de Investigação do Câncer (AIIC) convocou um grupo de especialistas para avaliar a possível natureza cancerígena da água potável clorada. A AIIC é uma divisão de investigação da Organização Mundial da Saúde (OMS) que avalia regularmente a possibilidade de diferentes materiais como causa de câncer em humanos. O grupo de trabalho da AIIC avaliou as principais análises científicas disponíveis sobre os potenciais efeitos da água potável clorada na saúde. Sua conclusão foi que a água potável clorada "não é classificada como cancerígena para os humanos" (AIIC, 1991).

Atualmente não são conclusivos os estudos sobre se os SDC causarem câncer. O novos estudos estão centrados na relação entre os abortos espontâneos e os SDC. Um estudo recente do Departamento de Serviços de Saúde da Califórnia constatou um alto risco de aborto espontâneo em mulheres que bebiam água com altos níveis de SDC. Quando as três comunidades estudadas foram analisadas em separado, este resultado foi estatisticamente significativo em apenas uma das três comunidades. Não está claro que os abortos estiveram relacionados de alguma maneira com a cloração. Há necessidade de uma investigação mais minuciosa do caso (CHRISTMAN, 1998).

A tarefa das entidades reguladoras é maximizar a proteção da saúde pública mediante a administração dos riscos relativos para a saúde humana dos contaminantes microbiológicos e químicos na água potável. A contínua verificação de enfermidades transmitidas pela água indica que os riscos microbianos devem receber uma atenção muito maior que os SDC. Por este motivo a Academia de Microbiologia dos Estados Unidos tem recomendado que “os riscos para a saúde apresentados pelos agentes patogênicos microbianos devem receber a mais alta prioridade no tratamento de água para proteger a saúde pública” (FORD & COWELL, 1996). Além do mais, o corpo técnico da EPA tem observado que os riscos de enfermidades microbianas transmitidas pela água potável não desinfetada é de 100 a 1000 vezes maiores que os riscos apresentados pelos SDC (REGLI *et al*, 1993).

Um informe publicado pela Sociedade Internacional de Legislação de Toxicologia e Farmacologia estipulava que “a redução da mortalidade devido a enfermidades infecciosas transmitidas pela água, atribuída grande parte à cloração dos sistemas de abastecimento de água potável, parece exceder qualquer risco teórico de câncer (que poderia ser tão baixo como apresentado pelas mínimas quantidades de produtos orgânicos clorados encontrados na água potável desinfetada com cloro” (COULSTON & KOLBYE, 1994).

Este ponto de vista é aprovado pela Academia de Microbiologia dos Estados Unidos, que enfatiza “é importante indicar que não existem provas diretas nem definitivas de que os subprodutos da desinfecção afetem a saúde dos seres humanos nas concentrações encontradas na água potável... não se deve permitir que as preocupações sobre a toxicologia destes subprodutos comprometam a existência da

desinfecção da água potável, pelo menos enquanto não existam dados que apoiem esta decisão” (FORD & COLWELL, 1996).

No Brasil, alguns estudos de águas de abastecimento relacionados aos trihalometanos, como é o caso de PERREIRA & LUCA (1989) em Porto Alegre e FIGUEIREDO *et al* (1999) em Campinas encontraram teores de THMs inferiores aos permitidos pela legislação vigente, que é de 100 µg/l de trihalometanos totais.

3.12 Controle dos Subprodutos da Desinfecção

As estações de tratamento de água podem implementar técnicas de tratamento que maximizem a segurança e a qualidade da água potável, ao mesmo tempo que minimizam os riscos da formação de subprodutos. Um dos melhores métodos para controlar os subprodutos de qualquer processo de desinfecção é eliminar os precursores orgânicos antes da mesma. Outros métodos convencionais incluem a variação do ponto de cloração mediante o uso de cloramina no sistema de distribuição e a redução da taxa de aplicação do cloro. Um informe do Comité de Qualidade da Água da American Water Works Association (AWWA) identificou procedimentos eficazes para redução da formação de trihalometanos, apresentados a seguir (AWWA, 1991):

i) Coagulação e Clarificação

A maioria das estações de tratamento otimizam seu processo de coagulação para remover turbidez. Porém, é possível otimizar o processo de coagulação para remoção da matéria orgânica natural. Os precursores são eliminados quando se utiliza sais de alumínio ou ferro como coagulantes para o controle da turbidez. Geralmente tem-se uma maior remoção dos precursores com a diminuição do pH antes ou no momento da adição do coagulante.

ii) Adsorção

Tem-se usado com êxito o processo de adsorção em algumas aplicações para remover precursores dos subprodutos da desinfecção. O carvão ativado pode proporcionar adsorção. Tem-se realizado uma significativa investigação para determinar a capacidade do carvão ativado para remover substâncias orgânicas

dissolvidas e microcontaminantes específicos. O carvão ativado cumpre esta função tanto na forma granular como em pó.

iii) Filtração em Membranas

Há muito tem-se usado as membranas para a desalinização de águas salobras. O processo utiliza a pressão hidráulica para forçar a passagem do líquido através de uma membrana semipermeável. Com a aplicação desta tecnologia obtém-se uma excelente remoção dos precursores dos trihalometanos.

Muitas dessas tecnologias podem apresentar um custo muito elevado para os países em desenvolvimento, neste caso, deve-se ressaltar a importância de se manter uma desinfecção adequada.

3.13 Desinfetantes e Dispositivos Alternativos de Desinfecção

Ao longo de toda a história do tratamento de água tem-se estudado alternativas de cloração e diversos métodos de desinfecção têm sido propostos. Os estudos realizados por Richard J. Bull, W. P. Heffernan e outros, indicam que os desinfetantes alternativos também produzem uma série de subprodutos. Estes resultados demonstraram que todos os métodos conhecidos para a desinfecção da água para consumo (com a possível exceção da radiação ultravioleta e solar) utilizam produtos químicos reativos e, como tal, podem gerar subprodutos (BULL & KOPFLER, 1991).

A seguir, segundo WHITE (1986), serão apresentados alguns desinfetantes alternativos com suas respectivas características, vantagens e desvantagens:

i) Cloraminas

Neste processo adiciona-se amoníaco e compostos de cloro, usualmente após a etapa de filtração. Quando controlada adequadamente, a mistura forma cloraminas e estas são usadas comumente para se manter um residual no sistema de distribuição. A sua utilização apresenta como vantagens:

- Residual persistente;
- Minimização de sabores e odores;

- Menores níveis de formação de THMs e ácido haloacético (AH);
- Desinfecção eficaz de películas biológicas em sistema de distribuição.

Como desvantagens no uso da cloramina pode-se citar:

- Produz subprodutos da desinfecção a base de nitrogênio, mas existem poucas informações sobre a toxicidade destes subprodutos;
- Apresenta problemas para pacientes de hemodiálise, pois os resíduos das cloraminas podem passar através das membranas das máquinas, causando problemas de saúde por oxidação dos glóbulos vermelhos;
- Causa irritação aos olhos, quando em altas concentrações;
- Requer maior concentração e tempo de contato;
- É questionável como germicida viral e parasitário;
- Pode promover o crescimento de algas nos reservatórios e o aumento de bactérias no sistema de distribuição devido ao amoníaco residual;
- Pode produzir altos níveis de ácido haloacético;
- Tem propriedade de oxidação e desinfecção menor que o cloro livre.

ii) Dióxido de Cloro (ClO_2)

O dióxido de cloro é gerado nas instalações de tratamento de água. A popularidade do dióxido de cloro como um desinfetante de água aumentou nos anos setenta quando se descobriu que o mesmo não promovia a formação de THMs. Algumas vantagens do dióxido de cloro são apresentadas a seguir:

- Excelente ação germicida contra os vírus;
- Não reage com o nitrogênio amoniacal para formar cloraminas;
- Não reage com matéria oxidável para formar THMs e destrói até 30% dos precursores de THMs;
- Destrói os fenóis que causam problemas de sabor e odor nos sistemas de abastecimento de água potável;
- Forma poucos SPD clorados, como THMs ou ácido haloacético;
- Desinfeta e oxida eficazmente, incluindo uma boa desinfecção tanto de *Giardia* como *Cryptosporidium*;

- Funciona com dose baixa na etapa posterior a desinfecção quando há necessidade de estações de reforço;
- Melhora a remoção de ferro e manganês mediante a oxidação e sedimentação rápida de compostos oxidados;
- Não reage com o brometo para formar bromato ou subproduto de bromo.

Observa-se algumas desvantagens quando da utilização do dióxido de cloro, tais como:

- Decompõe-se em subprodutos inorgânicos, como cloreto e em menor grau em íon clorato;
- Requer equipamento de geração e manejo de produtos químicos no local;
- Ocasionalmente apresenta problemas de sabor e odor.

iii) Ozônio

Durante décadas, tem-se usado o ozônio na Europa para controlar o sabor e o odor, assim como para a remoção de cor e na própria desinfecção. Apresenta como vantagens:

- Atua como um excelente virucida;
- Desinfeta e oxida muito eficazmente;
- Não produz nenhum THMs, ácido haloacético nem outros subprodutos clorados;
- Inativa tanto o *Cryptosporidium* como a *Giardia* e outros agentes patogênicos conhecidos;
- Controla sabor e odor.

Entre as principais desvantagens do ozônio, citam-se:

- Produz subprodutos de desinfecção que incluem: aldeídos, cetonas, ácidos carboxílicos, THMs de bromo (incluindo o bromofórmio), ácidos acéticos de bromo, bromato, quinonas e peróxidos;

- Formação de THMs quando alguns subprodutos da ozonização combinam-se com processos secundários de desinfecção. Provavelmente necessitará de um filtro biologicamente ativado para eliminar estes precursores recém-formados;
- Não proporciona um residual persistente;
- Requer investimentos. O ozônio é produzido no local por meio de uma tecnologia cara que requer um alto nível de manutenção e uma capacitação considerável dos operadores;
- Promove o crescimento microbiano. O ozônio reage facilmente com matéria orgânica mais complexa e pode oxidá-la a compostos menores que servem para aumentar o teor de nutrientes nos sistemas de abastecimento de água, fomentando um novo crescimento microbiano nas redes de distribuição.

iv) Radiação Ultravioleta (UV)

Este processo inclui a exposição da água a radiação UV que inativa diversos microrganismos. Esta técnica vem sendo aplicada tanto para o tratamento de águas residuárias como para o tratamento de água.

Dentre as vantagens da radiação ultravioleta destacam-se:

- Não requer armazenamento químico nem equipamento para sua manipulação ou alimentação;
- Não possui subprodutos de desinfecção identificados.

Entre as desvantagens da radiação ultravioleta podem ser citadas:

- Não tem ação residual;
- Requer elevada manutenção;
- Investimento inicial elevado;
- Elevado custo de operação (energia);
- A ação da desinfecção pode ser comprometida pela turbidez da água, dureza (incrustação nos tubos de UV) ou com os cortes de energia.

v) Iodo

O iodo é um desinfetante excelente, eficaz contra bactérias, vírus, protozoários e seus cistos e outros microrganismos relacionados com as doenças transmitidas pela água. Porém seu uso tem sido limitado, destinando-se geralmente à desinfecção de emergência durante breves períodos, principalmente pela possível toxicidade em algumas pessoas sensíveis ao iodo (CEPIS, 1995).

Dentre outros desinfetantes ou dispositivos alternativos de desinfecção, ainda com uso restrito no Brasil, pode-se citar a tecnologia MOGGOD (do inglês, mixed oxidant gases generated on-site for disinfection), o Ferrato de Sódio, o Ácido Peracético, a Radiação Solar, a Fotocatálise, ainda o clorador por pastilhas e o clorador por difusão.

Na Tabela 4 será apresentada uma comparação entre os aspectos mais relevantes na desinfecção dos desinfetantes já citados.

Tabela 4 - Comparação entre Alguns Desinfetantes de Água Potável

Desinfetantes	Eficiência Desinfecção	Residual	Informação Subprodutos	Remoção Cor	Remoção Odor
Cloro	Bom	Bom	Adequado	Bom	Bom
Cloraminas	Pobre	Bom	Limitado	Inaceitável	Pobre
Dióxido de Cloro	Bom	Inaceitável	Adequado	Bom	Bom
Ozônio	Excelente	Inaceitável	Limitado	Excelente	Excelente
Radiação Ultravioleta	Regular	Inaceitável	Nulo	N/A	N/A
Iodo	Bom	Bom	Adequado	Inaceitável	Inaceitável

Fonte: Adaptado de TRUSSELL (1991), CEPIS (1999).

4 METODOLOGIA

4.1 Preparação e Características das Águas de Estudo

Inicialmente, os experimentos, de todos os grupos integrantes da rede Prosab. seriam realizados com água sintética recomendada pelo Standard Methods 15th ed., 1995. para experimentos envolvendo protistas. Todavia, devido ao grande volume de água requerido na pesquisa, decorrente da vazão afluente para cada um dos três dispositivos de cloração, tornou-se inviável o emprego de água destilada e deionizada para preparação da água sintética. Desta forma, optou-se pela água da concessionária local, sendo a mesma desclorada por meio de carvão ativado.

Mesmo trabalhando com a água sintética distinta da recomendada, procurou-se preservar as características do projeto original, com ressalvas para os valores de dureza e alcalinidade, cujas características são apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5 - Características da Água de Estudo

Características	Água Sintética 1	Água Sintética 2
Dureza	55 a 80 mg/l CaCO ₃	55 a 80 mg/l CaCO ₃
Alcalinidade	15a30mg/l CaCO ₃	15 a 30 mg/l CaCO ₃
Turbidez	0 a 5 uT	20a30uT
Cor Verdadeira	20 a 30 uH	20 a 30 uH
pH	6,4 a 6,8	6,4 a 6.8
Coliformes	10 ³ a 10 ⁷ NMP/100 ml	10 ³ a 10 ⁷ NMP/100 ml

Fonte: Autor (2000).

Os teores de turbidez e cor verdadeira foram conferidos por uma solução de argila montmorilonita e substâncias húmicas, respectivamente, e a contaminação por microrganismos por meio de cepas de *Escherichia coli* fornecidas pela USP, isolada de água. Houve também a contaminação com *Enterobacter* e *Colifagos*, sendo estes os microrganismos indicadores de contaminação definidos para estudo, apresentados mais detalhadamente no Anexo A.

Todas as análises tanto as bacteriológicas quanto as físico-químicas foram baseadas no Standard Methods for Examination of Water and Wasterwater (APHA *et al*, 1992).

A temperatura não foi monitorada ao longo de toda a pesquisa, e sim, realizaram-se leituras no final do experimento, obtendo como média 20 °C. Vale ressaltar que este foi o período mais frio do ano, e em função do calor específico da água, pode-se

afirmar que durante os ensaios as temperaturas das águas de estudo foram superiores a 20 °C.

4.2 Material e Montagem do Aparato Experimental

A pesquisa foi desenvolvida utilizando-se:

- Três bombonas de polietileno de 100 l;
- Dois reservatórios de fibra de vidro com capacidade para 500 l cada unidade;
- Uma caixa de distribuição de 50 l;
- Dois filtros de carvão ativado;
- Uma bomba KSB Hydrobloc P 500 para recalque da água de estudo para a caixa de distribuição;
- Conexões, registros, mangueiras e materiais hidráulicos em geral.

O fluxo do experimento deu-se da seguinte maneira (Figura 8):

- A água bruta, proveniente da rede pública, afluía a dois filtros de carvão ativado para descloração e posteriormente lançamento no reservatório "01" de 500 l (definiu-se que o reservatório "01" receberia a água proveniente dos filtros de carvão ativado e o "02" estaria sempre com a água de estudo pronta para ser recalçada até os cloradores);
- A água de estudo era recalçada do reservatório "02" para a caixa de distribuição que alimentava as bombonas onde se encontrava os cloradores por difusão;
- A vazão afluente às bombonas era controlada por registros de esfera de $\frac{1}{2}$ ' instalados na parte inferior das mesmas e a saída das bombonas dava-se pela parte superior (extravasores), onde eram coletadas amostras para análises (Figura 9).

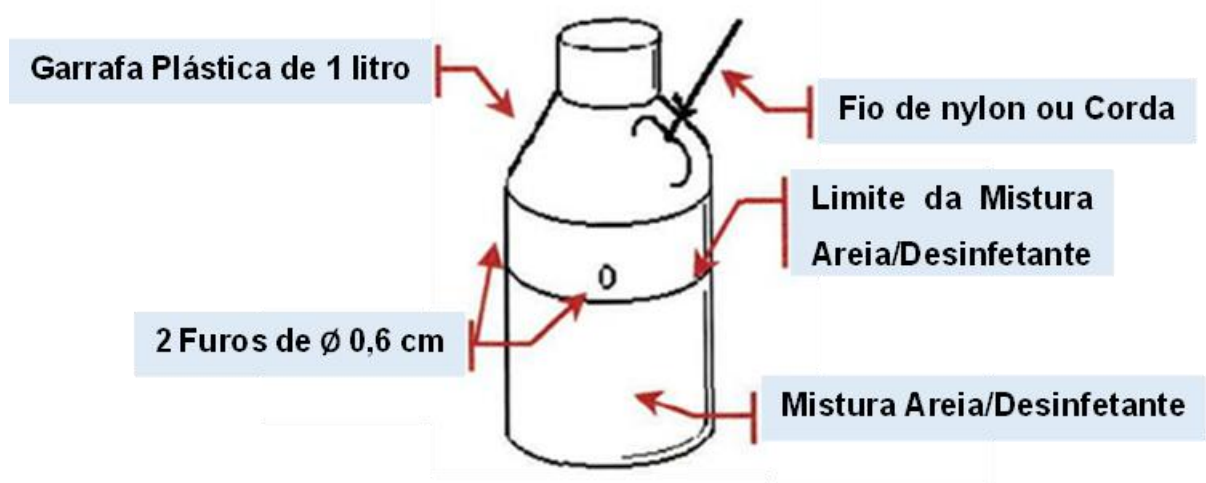
Na caixa de distribuição (reservatório de amianto com capacidade para 50 l), onde foi instalada uma cortina perfurada para uniformidade do fluxo de água e um vertedor para manter o nível constante.

O clorador por difusão consiste basicamente de um recipiente com perfurações, que se completa com uma mistura de areia e hipoclorito de cálcio (ORIHUELA *et al*, 1979).

VIANA & CARVALHO (1984) e VIANA (1991) recomendam uma garrafa plástica de um litro com dois orifícios opostos de 0,6 cm de raio, contendo uma mistura de 340g de hipoclorito de cálcio e 850g de areia lavada, apresentado na Figura 6. Esta areia deve ter granulometria média de 48 # Tyler (0,295 mm) (GONZAGA, 1996).

Segundo a cartilha da ABICLOR e CLOROSUR (2000), para tratamento de poços e cacimbas recomenda-se uma garrafa plástica de 1,5 litros e pedaços de esponja de lavar pratos sem uso, contendo meio copo de hipoclorito de sódio, com dois furos na parte superior da garrafa feitos com uma agulha. A Figura 7 apresenta o clorador por difusão em escala piloto com redução de 1:10 utilizado na pesquisa.

Figura 6 - Clorador por Difusão



Fonte: Adaptado de VIANA (1991)

Figura 7 - Clorador por Difusão Piloto Utilizado na Pesquisa (escala 1:10)



Fonte: Autor (2000)

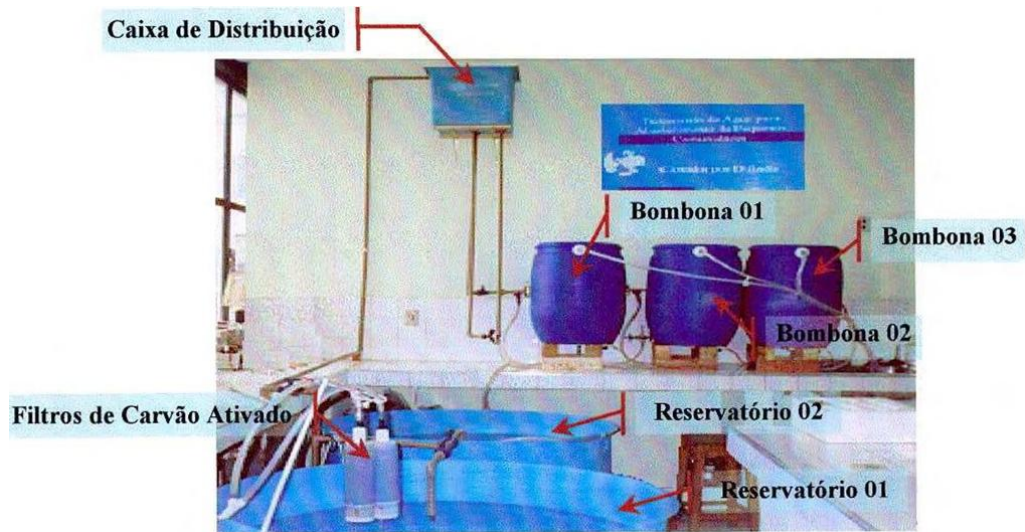
Em escala real, o clorador por difusão constitui-se de uma garrafa plástica de aproximadamente 1 litro, com 2 furos de 0,6 cm de diâmetro e diametralmente opostos, com $\frac{2}{3}$ do seu volume preenchido com uma mistura de areia (340 g) e hipoclorito de cálcio ou cal clorada (850 g). Para simulação em laboratório, definiu-se uma redução em escala de 1:10 em relação as recomendações citadas para escala real. A garrafa cloradora utilizada foi um recipiente plástico de 100 ml, sendo os furos laterais, com a mesma área de abertura dos da escala 1:3, de diâmetro de 3,3 mm.

Quando esta relação é feita para diâmetro de 0,6 cm encontra-se $D_2 = 2$ mm, mas no experimento realizado por GONZAGA (1996), isto apresentou problemas de obstrução do orifício; por este motivo optou-se pela relação com 1 cm, sendo superado este problema. Os dispositivos foram imersos 5 cm abaixo da lâmina d'água no interior das bombonas (simulação de um poço raso), cuja alimentação efetuava-se a partir das caixas de preparo das águas de estudo.

Partiu-se de um modelo de poço raso ideal, constituído por um metro de lâmina d'água e um metro de diâmetro (volume de 785 l), abastecendo uma família de 5 pessoas tendo como cota per capita de 150 l/d; subseqüentemente, as vazões recebiam incrementos de 75 e 150%. A este volume diário de água estipulado, circulou-se uma vazão diária proporcional nas três bombonas de 100 l (750, 1313 e 1875 l/d), de modo a simular o funcionamento de poços rasos em laboratório na escala de 1:10, mantendo-se constante o tempo teórico de detenção no poço da ordem de 25,13 h.

Assim, circulou-se uma vazão diária de 95,5, 167,1 e 238,7 litros nas bombonas 01, 02 e 03 respectivamente, proporcional ao volume de água no poço e ao consumo estipulado. Tais aumentos na vazão de 75 e 150% foram definidos em função do limite máximo de reservação d'água nas caixas de armazenamento ($95,5 + 167,1 + 238,7 \cong 500$ litros).

Figura 8 - Visão geral do Aparato Experimental



Fonte: Autor (2000)

Figura 9 - Detalhe das bombonas como simuladores de poços



Fonte: Autor (2000)

4.3 Análises Microbiológicas

4.3.1 Contaminação da Água Sintética

A contaminação da água sintética obedeceu a seguinte rotina experimental:

- O volume determinado de contaminante era diluído em um recipiente de 2 litros para posterior distribuição no reservatório (caixa de 500 l), onde o mesmo era homogeneizado vigorosamente até total dispersão em toda a massa líquida;

- A coleta da amostra da água experimental contaminada foi realizada seguindo o princípio de amostra composta, no qual coletam-se dez amostras de 10 ml em diferentes pontos da caixa para uma melhor representatividade da mesma.

4.3.2 Análises Bacteriológicas

i) Determinação de *Coliformes totais* e *Escherichia coli*

As análises foram realizadas de acordo com a técnica do substrato definido, COLILERT/Quanti-Tray 2000 (IDEXX, USA), conforme o procedimento no Anexo A.

ii) Determinação de *Colifagos*

Para determinação de *Colifagos* foi empregada a técnica da contagem em placa de Lise, conforme procedimento no Anexo A.

4.4 Determinações Analíticas

Os valores de cloro residual total e livre foram determinados pelo método colorimétrico DPD, utilizando o aparelho de espectro fotometria modelo DR/2010 da Hach, baseado no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Detalhes da metodologia empregadas para tais determinações são apresentados no Anexo A.

As análises de pH, cor verdadeira, turbidez, alcalinidade, dureza e teor de cloro ativo foram realizadas nos Laboratórios de Aulas Práticas e de Análises Físico-Químicas do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (DESA) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

As análises de cor verdadeira, pH e turbidez foram respectivamente realizadas no espectrofotômetro modelo DR/2010, no turbidímetro modelo 2100AN, ambos da Hach e no potenciômetro modelo 210A da Orion.

4.5 Protocolo de Ensaios

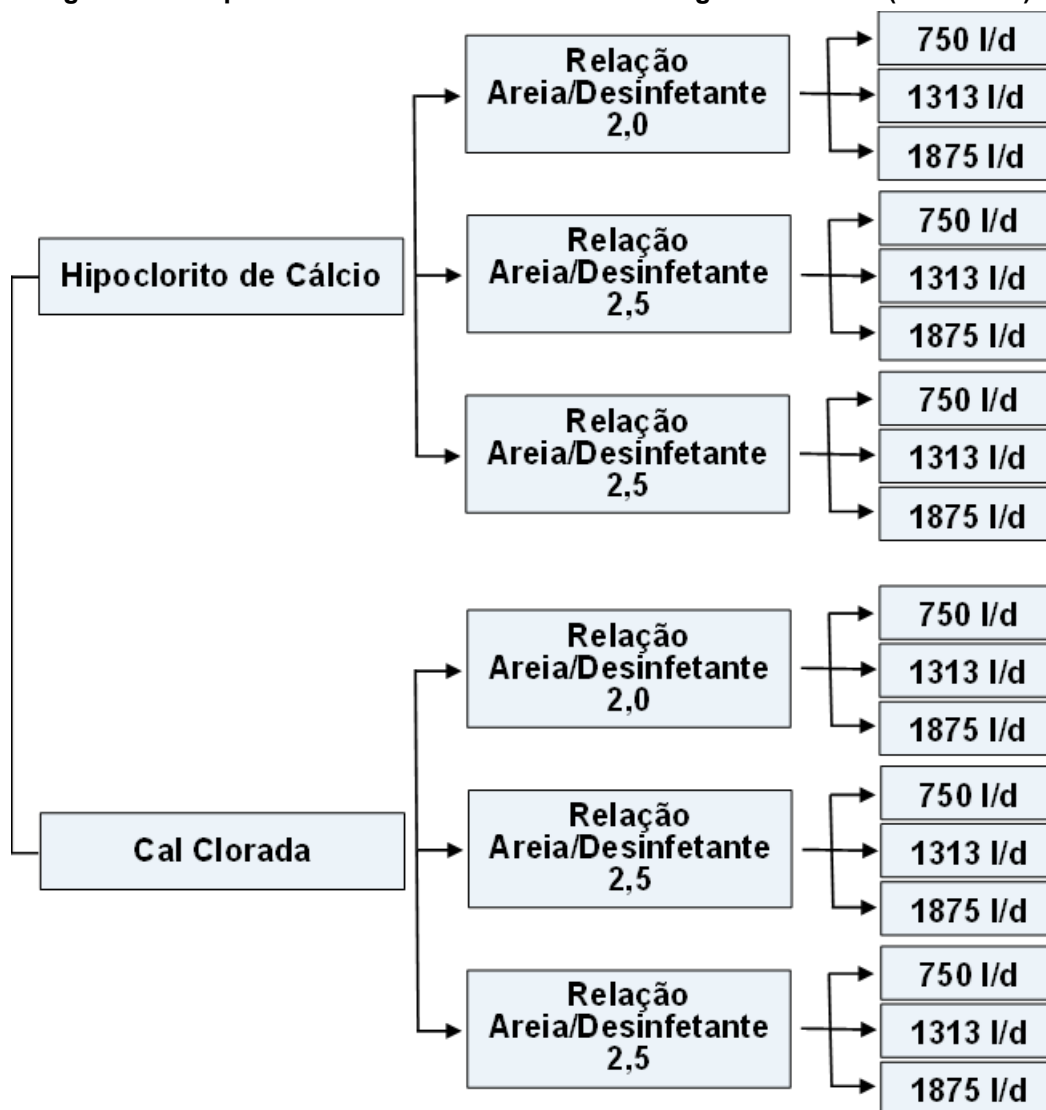
Na avaliação do clorador por difusão consideraram-se para efeito de estudo três variáveis, o teor de cloro ativo (hipoclorito de cálcio = 65% e cal clorada = 20%), a

relação areia/desinfetante (3,0, 2,5 e 2,0) e variação de vazão (em escala real corresponde a um consumo médio de 5, 9 e 13 habitantes tendo o per capita 150 l/d).

A coleta das amostras do efluente das bombonas realizou-se com intervalo de 4 horas, no início da carreira dos cloradores, para aferição do cloro residual e análises bacteriológicas. Com o decorrer da carreira, este intervalo passava a ser de 6 a 12 horas, determinado a partir da introdução dos cloradores no interior das bombonas.

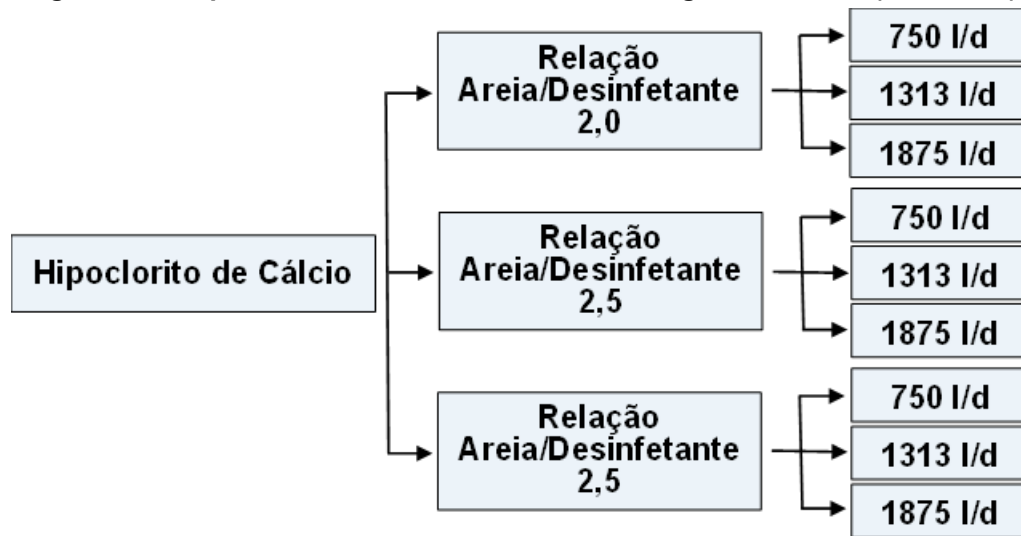
Na Figura 10 e na Figura 11, representa-se esquematicamente as carreiras realizadas levando em consideração as variáveis a serem estudadas, nas águas sintéticas 1 e 2, respectivamente.

Figura 10 - Esquema das carreiras realizadas com água sintética 1 (< turbidez)



Fonte: Autor (2000)

Figura 11 - Esquema das carreiras realizadas com água sintética 2 (> turbidez)



Fonte: Autor (2000)

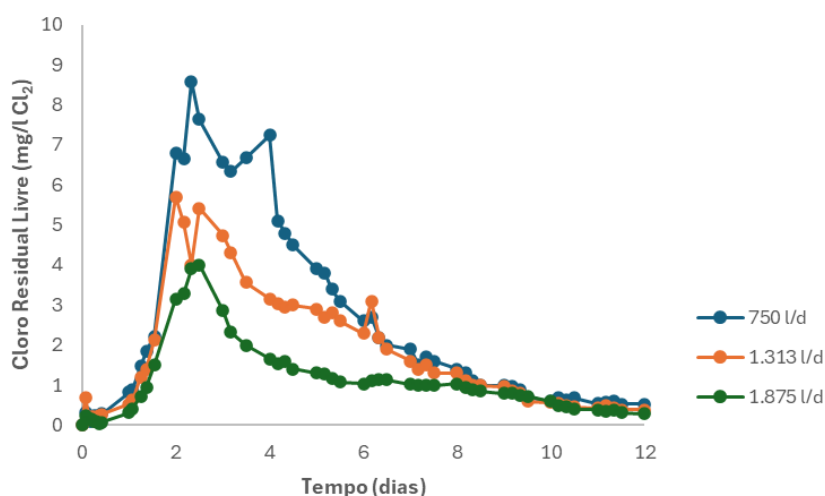
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Todos os resultados, figuras e comentários efetuados neste item foram baseados nos dados apresentados no Apêndice A.

5.1 Definição do Tempo das Carreiras do Clorador

Em função dos parâmetros propostos a serem analisados, a realização de carreiras completas do clorador (estima-se um período mínimo de aproximadamente 25 dias) seria inviável, pois o tempo disponível para tal é muito inferior. Então efetuou-se uma carreira de cloração para a observação do tempo aproximado de pico de cloro residual nas condições de menor turbidez (água sintética 1), tendo como desinfetante hipoclorito de cálcio com uma relação areia/desinfetante intermediária ao intervalo proposto para estudo igual a 2,5. Os resultados estão apresentados na Figura 12.

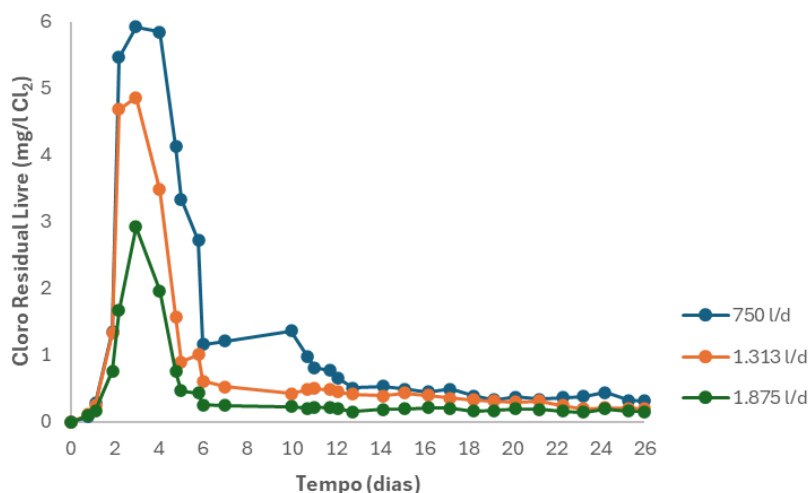
Figura 12 - Concentração de cloro residual para o clorador com hipoclorito de cálcio e relação areia/desinfetante igual a 2,5 (água sintética 1)



Fonte: Autor (2000)

Todavia, verificou-se a necessidade da realização de uma carreira de cloração completa para se ter uma visão mais exata do comportamento do clorador e verificação do tempo de evolução do residual até o máximo de teor de cloro produzido pelo clorador em outras condições. Desta forma, efetuou-se então uma carreira com a mesma configuração do clorador para água sintética 2, apresentada na Figura 13.

Figura 13 - Concentração de cloro residual para o clorador com hipoclorito de cálcio e relação areia/desinfetante igual a 2,5 (água sintética 2)



Fonte: Autor (2000)

A carreira de cloração apresentou duração de 26 dias e mesmo o clorador com maior vazão apresentou residuais de cloro de acordo com o que preconiza a Portaria 36/90, de 0,2 mg/l Cl₂, para águas em ponta de rede. Tais valores estão em conformidade com os apresentados em escala real. LIPEL (1994) relata valores médios de 0,4 mg/l de cloro residual encontrados em poços rasos que utilizavam cloradores por difusão em experimentos em Blumenau, SC. O pico de cloro apresentou-se próximo do 3º dia de operação, mostrando a possibilidade de se efetuar carreiras de aproximadamente uma semana para observação dos mesmos.

Como verifica-se nas Figura 12 e Figura 13 o pico de cloro residual é inferior a 4 dias, com isso adotou-se o tempo de carreira dos cloradores não inferior a 5 dias.

Os resultados obtidos com as águas sintéticas 1 e 2 são apresentados a seguir, em termos de cloro residual, análises bacteriológicas e variação de vazão afluyente, além da utilização de diferentes desinfetantes (hipoclorito de cálcio e cal clorada²) nos cloradores.

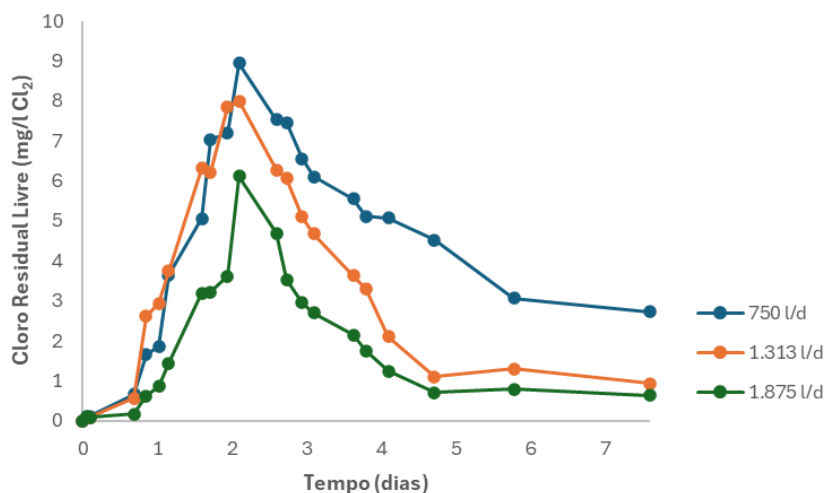
² A cal clorada não foi utilizada na água sintética 2, como justificado em subitem específico (Figura 20).

5.2 Água Sintética 1

5.2.1 Resultados de Cloro Residual

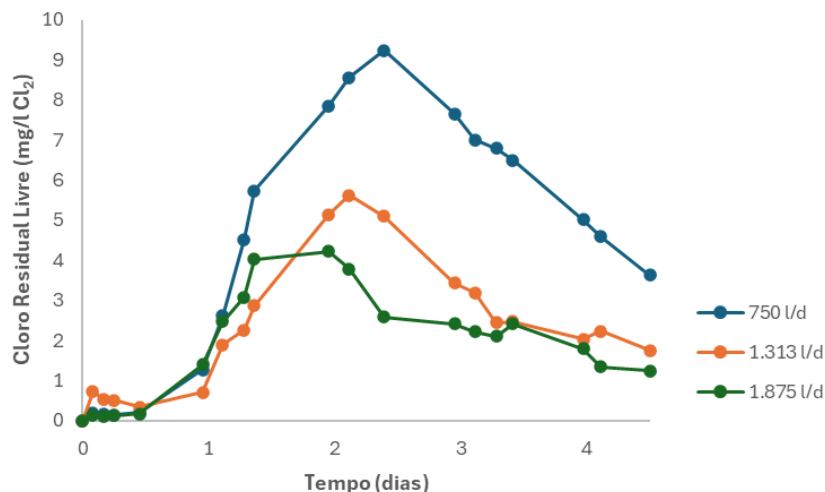
Apresentam-se a seguir (Figura 14, Figura 15 e Figura 16), os resultados de cloro residual medidos nas bombonas de 100 l, contendo cloradores com hipoclorito de cálcio com as relações de areia/desinfetante de 2,0, 2,5 e 3,0, respectivamente. O cloro residual é expresso em cloro residual livre, pois não constatou-se diferença maior que 0,05 mg/l de Cl com relação ao cloro residual total em todos os testes realizados; isto pode ser explicado pelo fato da água sintética 1 apresentar baixa cor verdadeira e turbidez (0-5 uT).

Figura 14 - Concentração de cloro residual para o clorador com hipoclorito de cálcio e relação areia/desinfetante igual a 2,0 (água sintética 1)



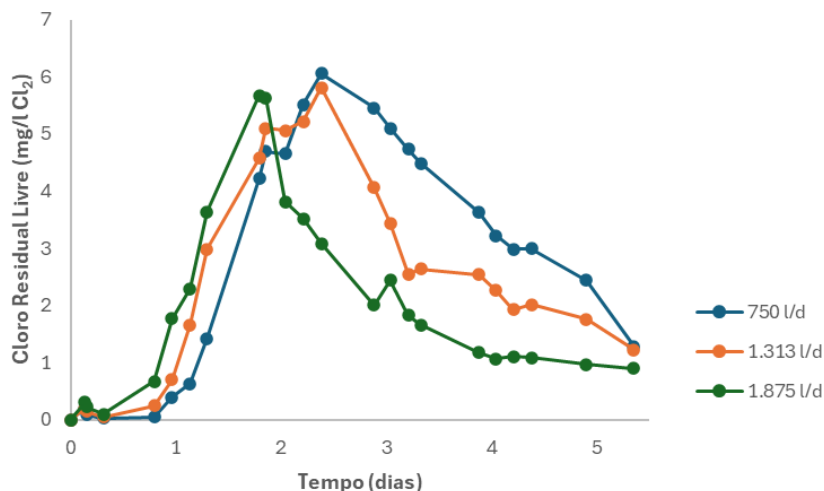
Fonte: Autor (2000)

Figura 15 - Concentração de cloro residual para o clorador com hipoclorito de cálcio e relação areia/desinfetante igual a 2,5 (água sintética 1)



Fonte: Autor (2000)

Figura 16 - Concentração de cloro residual para o clorador com hipoclorito de cálcio e relação areia/desinfetante igual a 3,0 (água sintética 1)

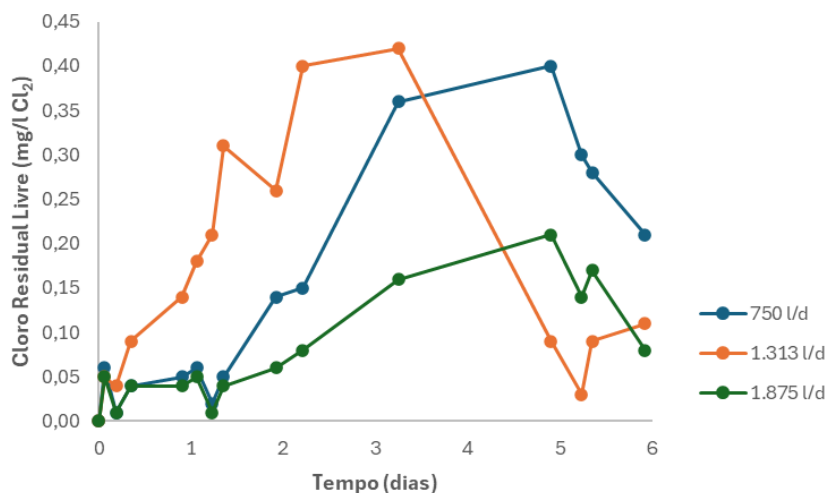


Fonte: Autor (2000)

Observa-se que as medições de cloro residual, ao longo das carreiras, apresentam valores elevados no início, decrescendo de forma gradual em função do tempo. O pico de cloro residual deu-se próximo do 2º dia da carreira de cloração e quanto menor a relação areia/hipoclorito de cálcio maiores são os valores do mesmo, o que era esperado, pois quanto maior a quantidade de desinfetante no clorador maior será o seu potencial de cloração.

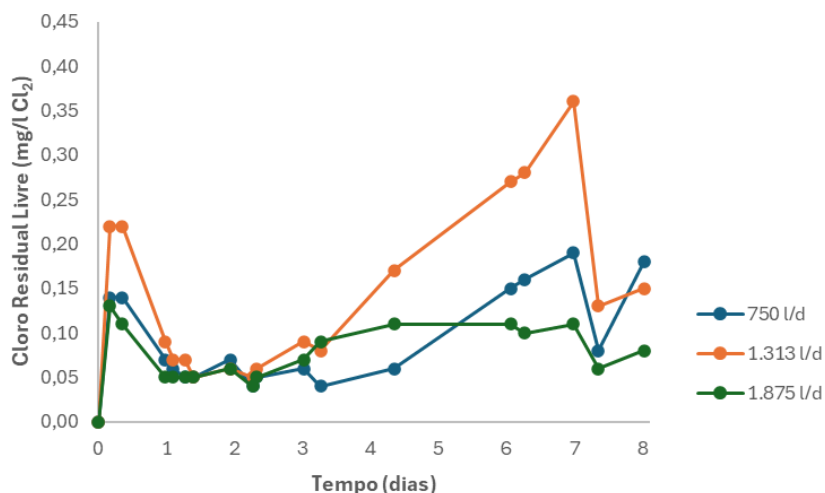
Nas Figura 17, Figura 18 e Figura 19 são apresentados os resultados obtidos com o clorador por difusão nas mesmas condições citadas anteriormente, substituindo-se apenas o hipoclorito de cálcio pela cal clorada.

Figura 17 - Concentração de cloro residual para o clorador com cal clorada e relação areia/desinfetante igual a 2,0 (água sintética 1)



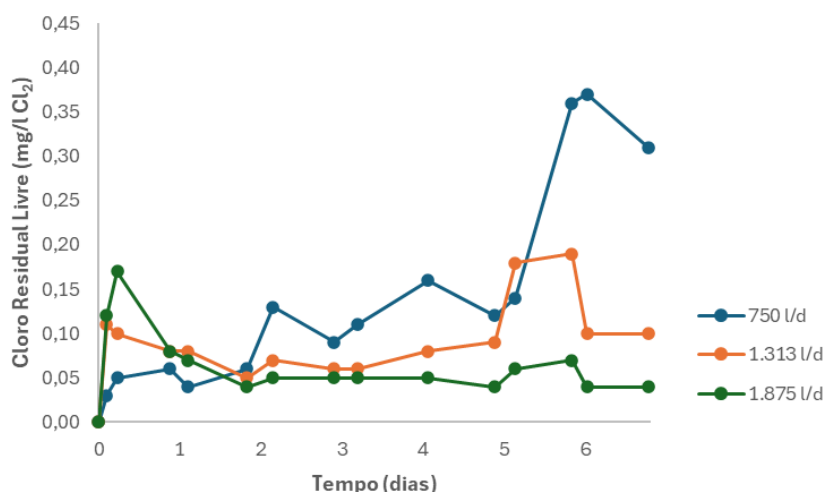
Fonte: Autor (2000)

Figura 18 - Concentração de cloro residual para o clorador com cal clorada e relação areia/desinfetante igual a 2,5 (água sintética 1)



Fonte: Autor (2000)

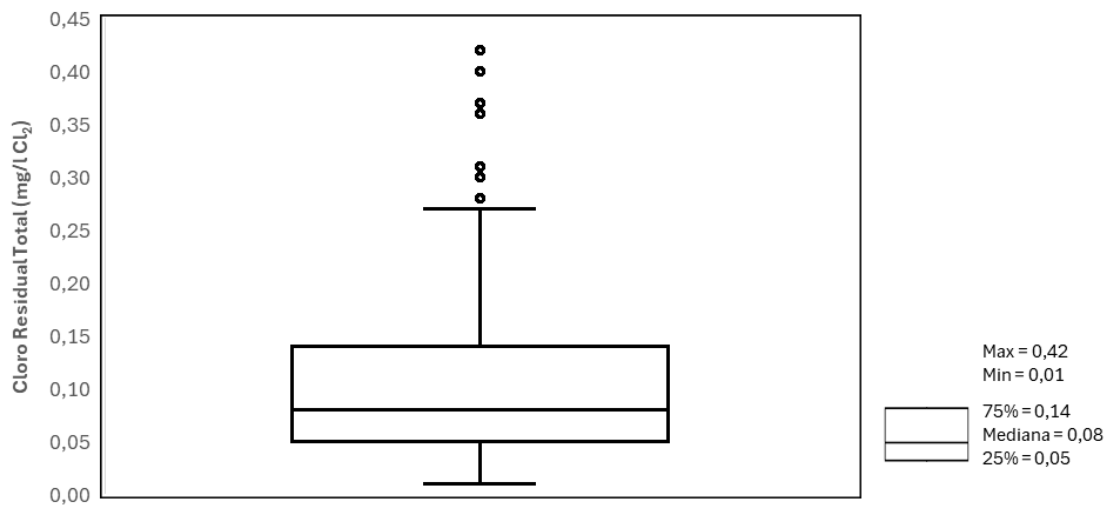
Figura 19 - Concentração de cloro residual para o clorador com cal clorada e relação areia/desinfetante igual a 3,0 (água sintética 1)



Fonte: Autor (2000)

Os resultados obtidos para a cal clorada não apresentaram o mesmo comportamento para o clorador com hipoclorito de cálcio, provavelmente em função da diminuição significativa do teor de cloro ativo (redução de 65 para 19,2%). Os resultados encontrados em carreiras de cloração com tempo médio de 7 dias não foram satisfatórios tendo com parâmetro o valor de cloro residual de 0,2 mg/l Cl. Como mostra a , a maioria dos valores obtidos estão entre 0,05 e 0,15 mg/l Cl, abaixo do que preconiza a Portaria 36/90 quanto ao residual de ponta de rede.

Figura 20 - Concentração de cloro residual no clorador por difusão com cal clorada em água sintética 1



Fonte: Autor (2000)

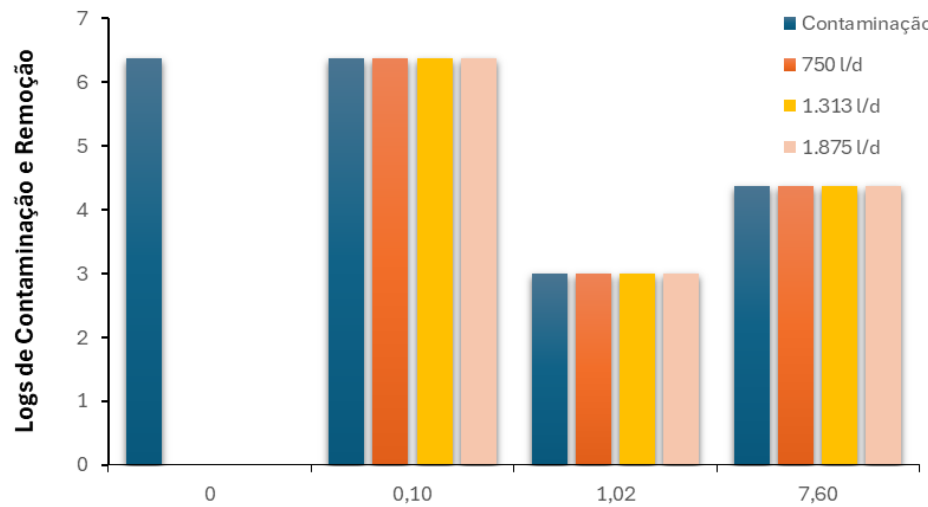
Em função destes resultados não foram realizados ensaios com o clorador contendo cal clorada para a água sintética 2, pois a mesma apresenta características que conferirão maior grau de dificuldade do ponto de vista da desinfecção.

A estatística básica para todos os ensaios efetuados durante o estudo estão apresentados no item 5.5 deste capítulo, onde estão apresentados a média, o mínimo, o máximo e a concentração de resultados no intervalo de 25 a 75%.

5.2.2 Eficiência da Desinfecção

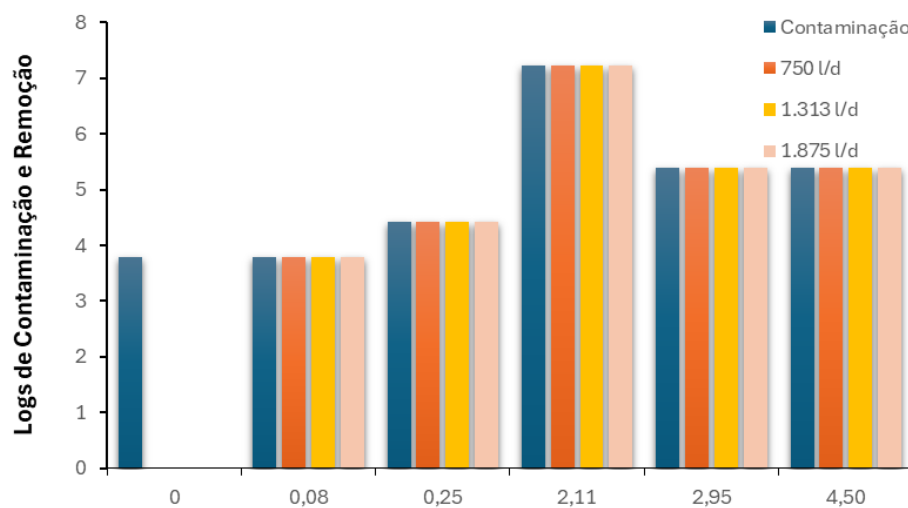
Os resultados das análises bacteriológicas realizadas nas três bombonas, contendo cloradores com hipoclorito de cálcio (teor de cloro ativo médio de 65%), demonstram a eficiência da desinfecção do dispositivo. Na contaminação bacteriológica com *Escherichia coli* obteve-se como média $1,7 \times 10^6$, o mínimo de 1×10^3 e máximo de $1,7 \times 10^6$ NMP/100 ml, como demonstrado nas Figura 21, Figura 22 e Figura 23. Na contaminação bacteriológica com *Enterobacter sp* (*Coliforme total*) obteve-se como média 1×10^6 , o mínimo de 2×10^5 e máximo de $2,4 \times 10^7$ NMP/100 ml, como apresentado na Figura 24.

Figura 21 - Logs de remoção para o clorador com hipoclorito de cálcio, relação areia/desinfetante igual a 2,0 (água sintética 1) e contaminação com *E. coli*



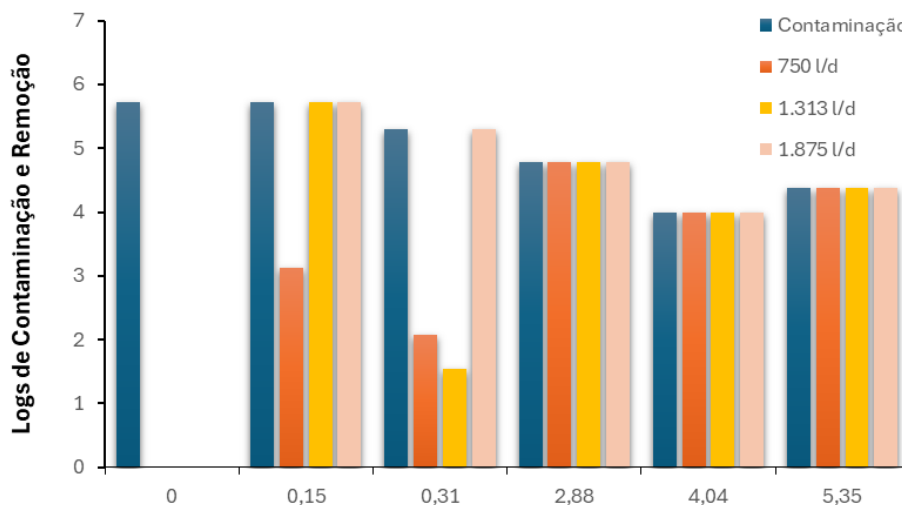
Fonte: Autor (2000)

Figura 22 - Logs de remoção para o clorador com hipoclorito de cálcio, relação areia/desinfetante igual a 2,5 (água sintética 1) e contaminação com *E. coli*



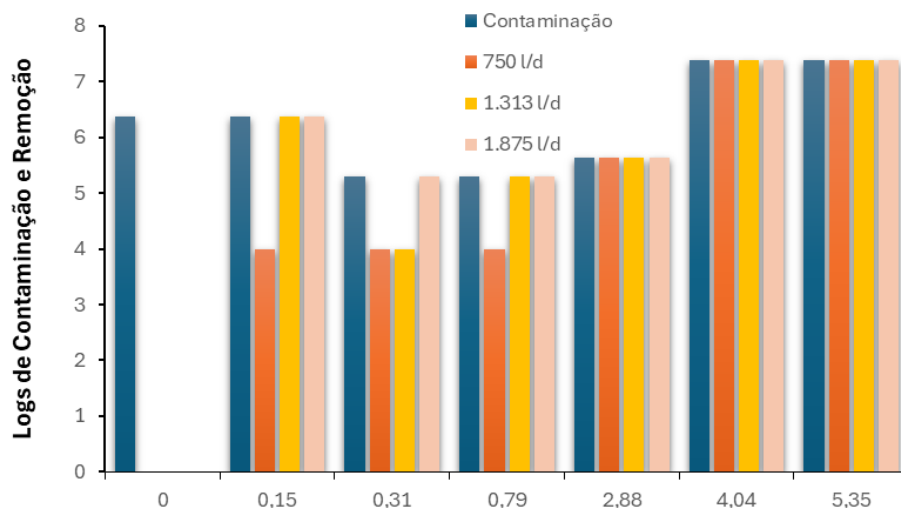
Fonte: Autor (2000)

Figura 23 - Logs de remoção para o clorador com hipoclorito de cálcio, relação areia/desinfetante igual a 3,0 (água sintética 1) e contaminação com *E. coli*



Fonte: Autor (2000)

Figura 24 - Logs de remoção para o clorador com hipoclorito de cálcio, relação areia/desinfetante igual a 3,0 (água sintética 1) e contaminação com *Enterobacter*



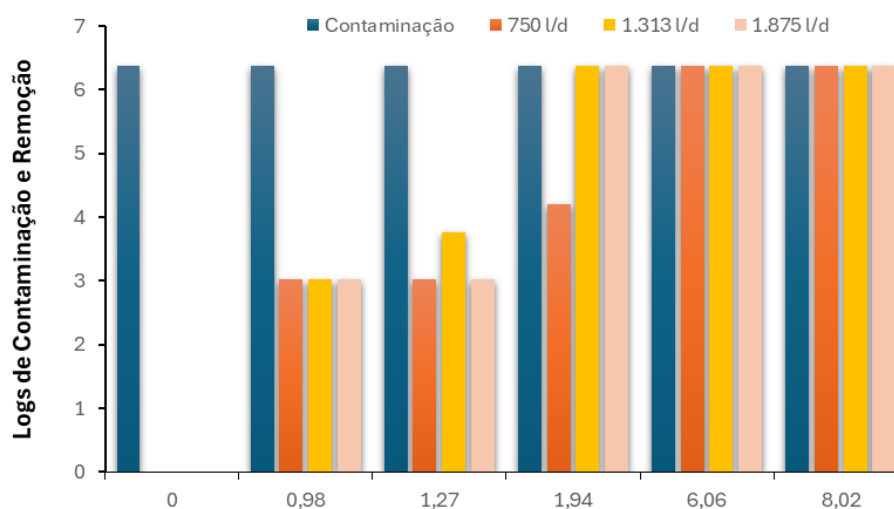
Fonte: Autor (2000)

Na avaliação das Figura 21, Figura 22 e Figura 23, observa-se que só há resultados bacteriológicos positivos nas primeiras 8 horas após a introdução dos cloradores nas bombonas, e mesmo assim com eficiência de desinfecção mínima de 2 logs. Isto se deve ao fato de que o clorador leva algum tempo para atingir toda a massa líquida de forma homogênea, com isso a eficiência da desinfecção é minimizada. Vale a pena mencionar que estes resultados positivos sempre se encontram em concentração de cloro residual livre inferior a 0,10 mg/l Cl_2 .

Os resultados bacteriológicos obtidos estão de acordo com os experimentos realizados por outros pesquisadores. LIPEL (1994) e GONZAGA (1996) mencionam o fato de que todas as contaminações foram eliminadas no máximo 24 horas após a colocação dos cloradores em poços rasos em escala real. COSTA et al (1985) também demonstram a eliminação de contaminação fecal em 24 horas após a implantação de cloradores, havendo uma variação de até 72 horas, o que não se observou no presente experimento.

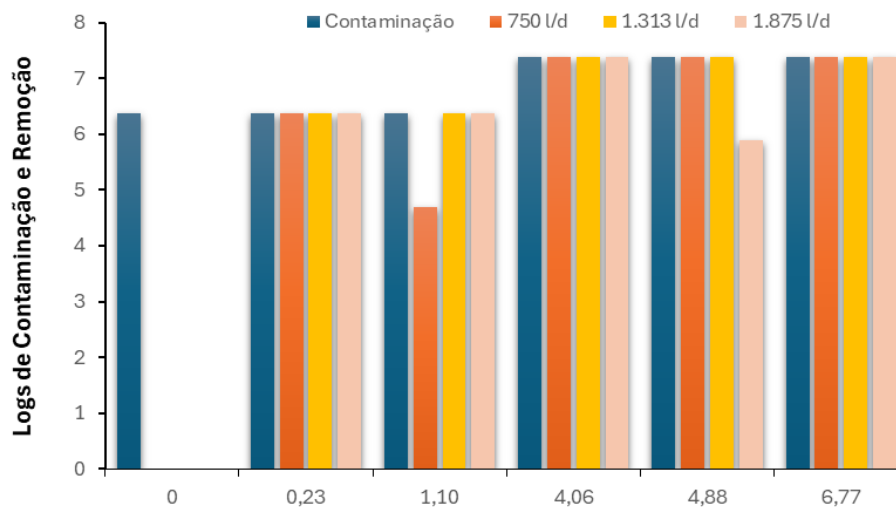
Os resultados das análises bacteriológicas realizadas nas três bombonas tendo imersos em seu interior cloradores utilizando como desinfetante cal clorada também demonstram a eficiência da desinfecção do dispositivo. Na contaminação bacteriológica com *Enterobacter* (*Coliforme total*) obteve-se como média $5,7 \times 10^6$, mínimo de $2,4 \times 10^5$ e máximo de $2,4 \times 10^7$ NMP/100 ml, como está representado nas Figura 25 e Figura 26.

Figura 25 - Logs de remoção para o clorador com cal clorada, relação areia/desinfetante igual a 2,5 (água sintética 1) e contaminação com *Enterobacter*



Fonte: Autor (2000)

Figura 26 - Logs de remoção para o clorador com cal clorada, relação areia/desinfetante igual a 3,0 (água sintética 1) e contaminação com *Enterobacter*



Fonte: Autor (2000)

Em função dos resultados de cloro residual não apresentarem uma regularidade, e sim uma variação constante em torno de valores menores que 0,2 mg/l Cl_2 , em todas as baterias apresentaram resultados positivos com relação ao indicador de contaminação em estudo, acima de 72 horas após a introdução do clorador como limite encontrado nos experimentos de COSTA *et al* (1985).

Vale mencionar que mesmo com o comportamento instável do clorador por difusão com a cal clorada os resultados positivos sempre se encontram em concentração de cloro residual livre inferior a 0,10 mg/l Cl_2 .

As avaliações feitas anteriormente referem-se ao clorador nas relações de areia/desinfetante de 2,5 e 3,0, pois na carreira de cloração com a relação 2,0 houve um problema de contaminação na cepa de *E. coli* e os resultados foram invalidados.

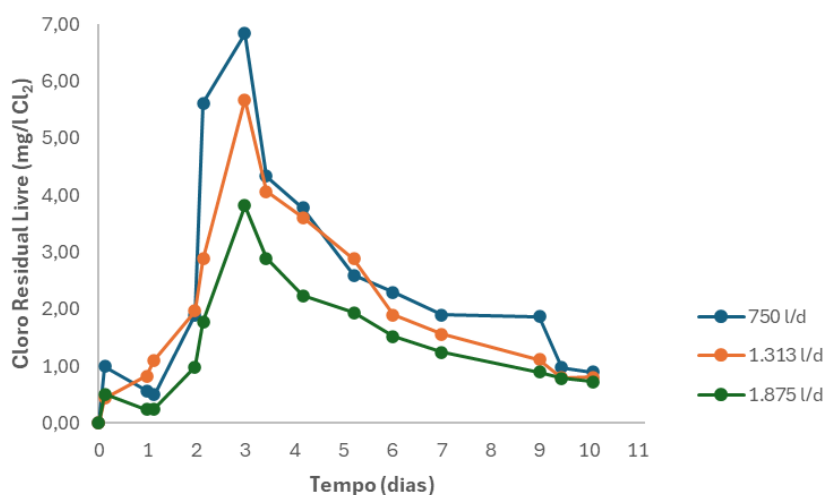
5.3 Água Sintética 2

5.3.1 Resultados de Cloro Residual

Apresentam-se a seguir, nas Figura 27, Figura 28 e Figura 29, os resultados de cloro residual medidos nas bombonas de 100 litros, com cloradores com hipoclorito de cálcio com as relações de areia/desinfetante de 2,0, 2,5 e 3,0, respectivamente. O cloro residual é expresso em cloro residual total.

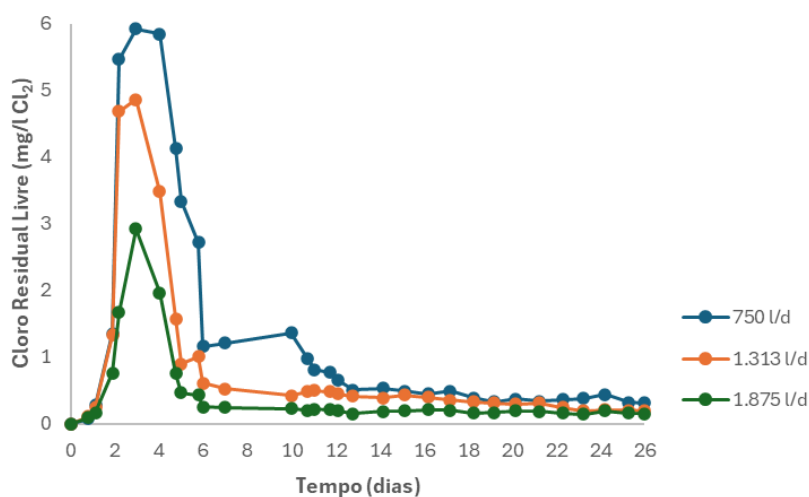
Durante os ensaios constatou-se diferença superior à encontrada na água sintética 1 (0,10 mg/l de Cl_2) com relação ao cloro residual livre em todos os testes realizados, explicada pelo fato de a água sintética 2 possuir maior turbidez (20 - 30 uT). Visto que as águas de estudo apresentam a mesma cor verdadeira, este maior consumo de cloro é devido provavelmente às impurezas da montmorilonita.

Figura 27 - Concentração de cloro residual para o clorador com hipoclorito de cálcio e relação areia/desinfetante igual a 2,0 (água sintética 2)



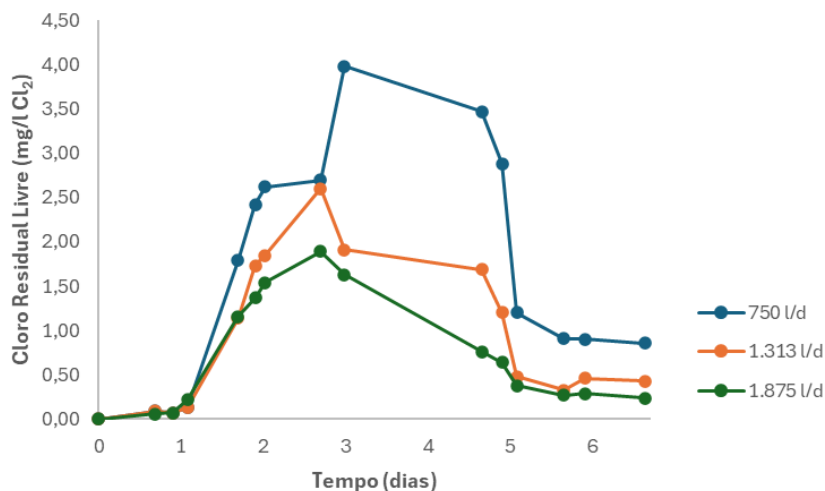
Fonte: Autor (2000)

Figura 28 - Concentração de cloro residual para o clorador com hipoclorito de cálcio e relação areia/desinfetante igual a 2,5 (água sintética 2)



Fonte: Autor (2000)

Figura 29 - Concentração de cloro residual para o clorador com hipoclorito de cálcio e relação areia/desinfetante igual a 3,0 (água sintética 2)



Fonte: Autor (2000)

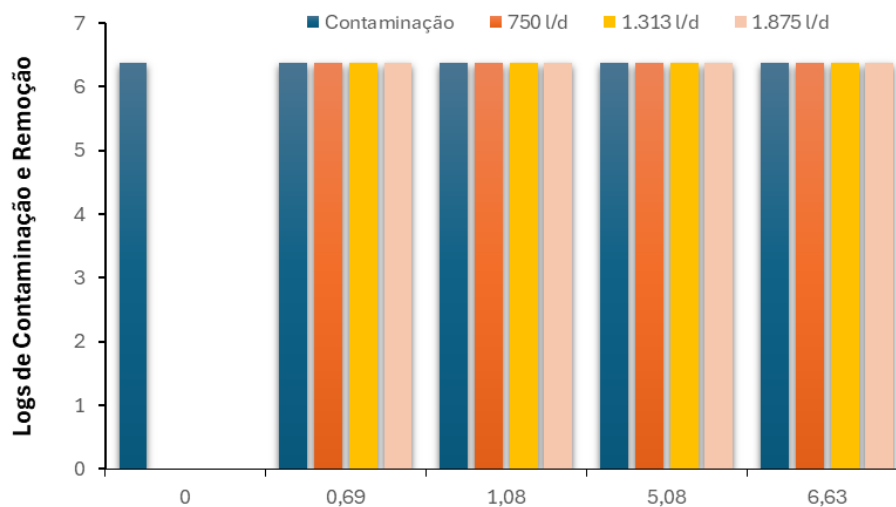
Observa-se que as medições de cloro residual, ao longo das careiras, apresentam valores elevados no início, decrescendo de forma gradual em função do tempo. O pico de cloro residual está próximo do 3º dia da carreira de cloração e quanto menor a relação areia/hipoclorito de cálcio maiores são os valores do mesmo, assim como ocorreu com o experimento na água sintética 1.

O clorador por difusão manteve o mesmo comportamento para as duas águas em estudo, com certas peculiaridades (1) os picos de cloro residual na água sintética 1 são maiores que na água sintética 2 e (2) estes picos se apresentam aproximadamente no 2º e 3º dias para as águas sintéticas 1 e 2, respectivamente.

5.3.2 Eficiência da Desinfecção

Os resultados das análises bacteriológicas realizadas nas três bombonas tendo imersos em seu interior cloradores utilizando como desinfetante hipoclorito de cálcio com teor de cloro ativo médio de 65%, demonstram a eficiência da desinfecção do dispositivo. Na contaminação bacteriológica com *Enterobacter* obteve-se como média $1,9 \times 10^7$, mínimo de $2,4 \times 10^6$ e máximo de $2,4 \times 10^7$ NMP/100 ml, como apresentado na Figura 30.

Figura 30 - Logs de remoção para o clorador com hipoclorito de cálcio, relação areia/desinfetante igual a 3,0 (água sintética 2) e contaminação com *Enterobacter*



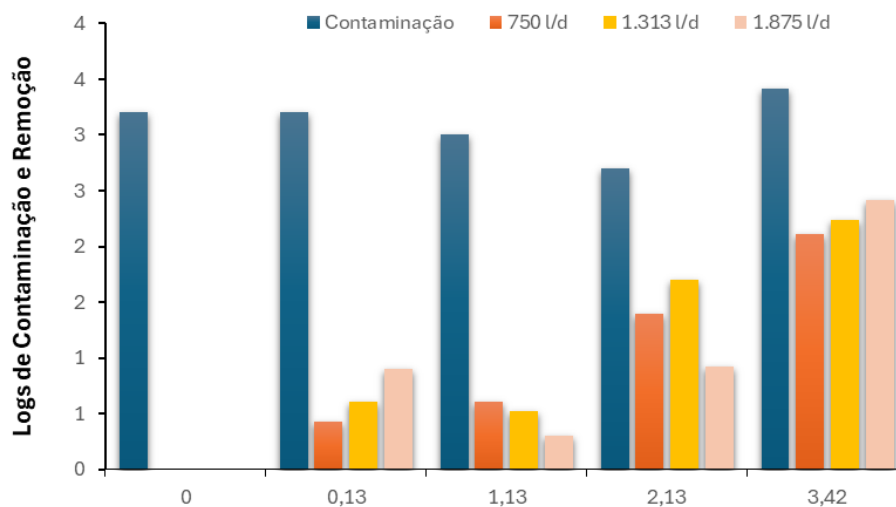
Fonte: Autor (2000)

Observa-se que nas mesmas condições do clorador por difusão em comparação com a água sintética 1 a eficiência de desinfecção foi a máxima. Vale ressaltar que se está utilizando uma relação areia/desinfetante igual a 3,0, consequentemente a pior configuração do clorador do ponto de vista da quantidade de hipoclorito de cálcio disponível. Isto mostra que para as condições de estudo o clorador apresenta um desempenho muito bom na desinfecção com relação aos indicadores de contaminação fecal, *E. coli* e *Coliformes totais*.

Ao longo da pesquisa, em função dos resultados experimentais, questionou-se a resistência da cepa empregada para contaminação das águas de estudo. Todavia, os resultados obtidos com diversos dispositivos de desinfecção, no contexto da Rede do Prosab, para águas naturais de características e graus de contaminação semelhantes aos das águas sintéticas minimizaram este questionamento (LIBANIO op. cit., 2000).

A Figura 31 apresenta o desempenho do clorador na desinfecção realizada com Colifagos como indicador.

Figura 31 - Logs de remoção para o clorador com hipoclorito de cálcio, relação areia/desinfetante igual a 3,0 (água sintética 2) e contaminação com *Colifagos*



Fonte: Autor (2000)

Como observa-se, os resultados são inconclusivos com relação ao limite de cloro residual tolerado pelos *Colifagos*, nem tão pouco quanto a remoção dos mesmos, resta a certeza da maior resistência destes quando comparados aos indicadores anteriormente testados.

5.4 Influência da Vazão

Conforme o esperado, os dados demonstram que o pico de concentração de cloro residual no sistema varia de forma inversamente proporcional à magnitude da vazão afluyente. Esse comportamento está alinhado com os princípios de diluição e dinâmica de fluidos, nos quais um maior volume de água tende a reduzir a concentração do desinfetante, desde que a dosagem de cloro seja mantida constante.

Essa relação adquire especial importância quando consideramos os possíveis efeitos de uma concentração excessiva de cloro na aceitação do sistema pela comunidade. Níveis elevados podem gerar resistência ao uso do dispositivo devido ao sabor desagradável da água, à possibilidade de irritação na pele ou mesmo a preocupações com potenciais efeitos à saúde em caso de exposição prolongada. Portanto, é fundamental equilibrar a eficácia da desinfecção com uma dosagem que não comprometa a adesão dos usuários.

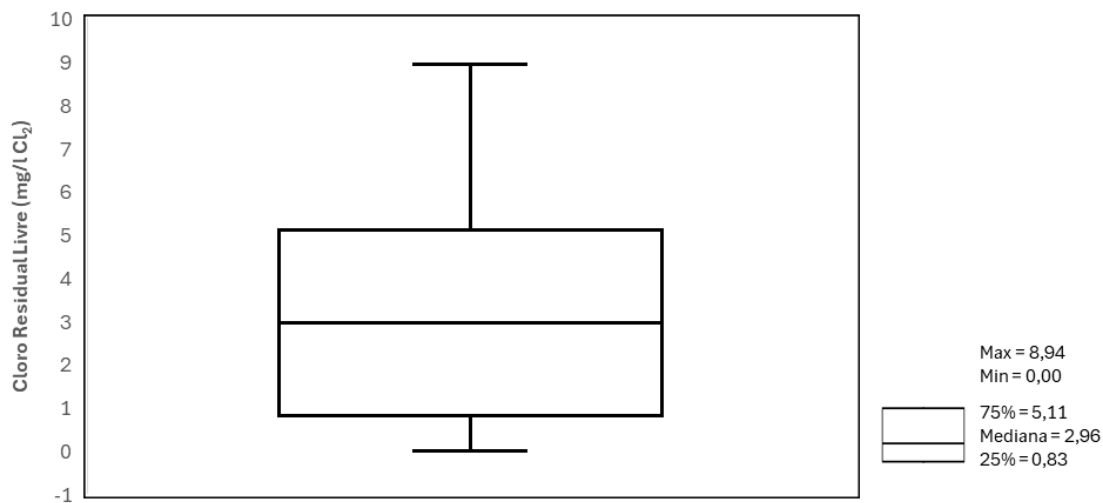
Por outro lado, os resultados indicam que, dentro das condições analisadas, o clorador apresenta capacidade para operar com vazões superiores às testadas, sem perda

significativa de eficiência. Isso sugere que o sistema possui uma margem de segurança operacional, permitindo sua aplicação em situações de demanda variável ou mesmo em escalonamento futuro para atendimento a um maior número de usuários. Contudo, recomenda-se a realização de novos ensaios em condições extremas para validar os limites máximos de desempenho do equipamento.

5.5 Estatística Básica dos Resultados de Cloro residual

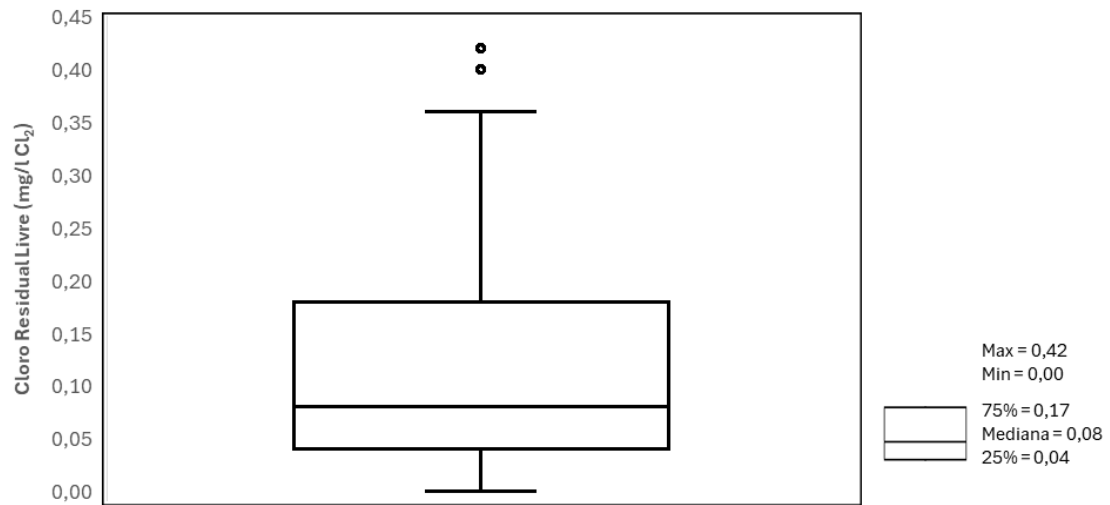
Durante a realização dos ensaios foi observado que, variando-se a relação areia/desinfetante, o teor de cloro ativo e a vazão, variam também os teores residuais médios de cloro. Nas Figuras de 32 a 40 apresentam-se os valores observados nas carreiras de cloração efetuadas com as águas de estudo, definindo os valores de máximo, mínimo, média e o intervalo de 25 a 75% das amostras (estatística básica). Como o tempo de duração das carreiras foi bastante variado, definiu-se como tempo limite para análise igual a 5 dias.

Figura 32 - Concentração de cloro residual para o clorador com hipoclorito de cálcio, relação areia/desinfetante igual a 2,0 (água sintética 1)



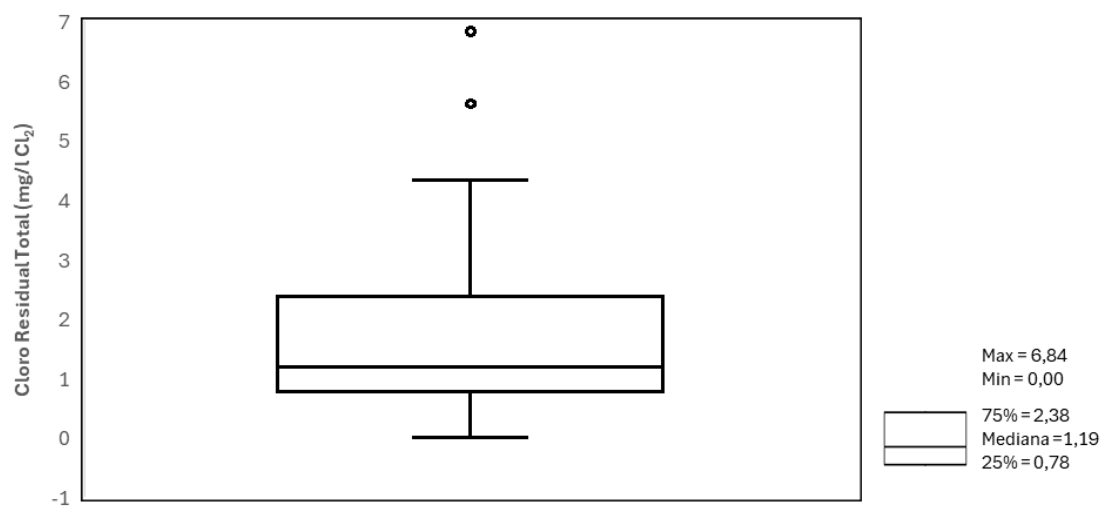
Fonte: Autor (2000)

Figura 33 - Concentração de cloro residual para o clorador com cal clorada, relação areia/desinfetante igual a 2,0 (água sintética 1)



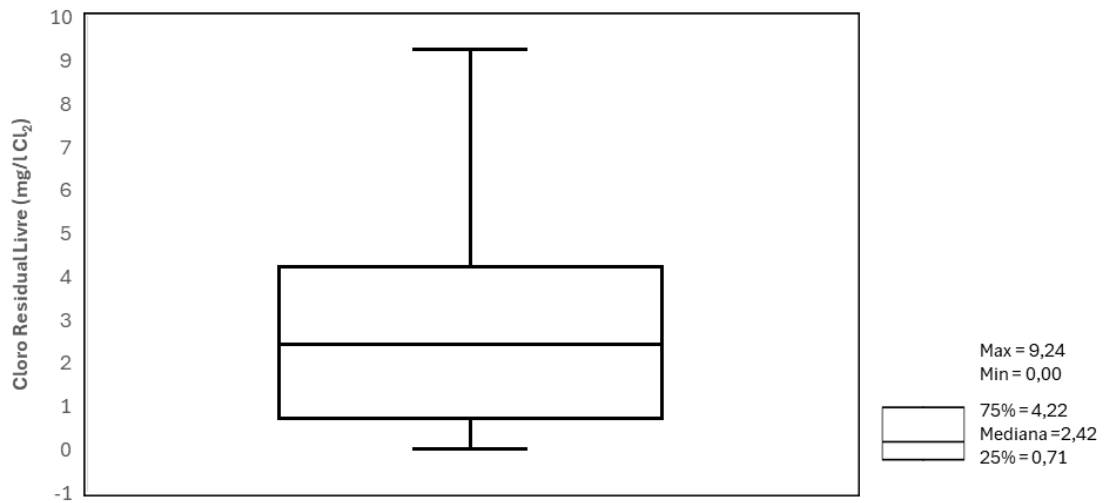
Fonte: Autor (2000)

Figura 34 - Concentração de cloro residual para o clorador com hipoclorito de cálcio, relação areia/desinfetante igual a 2,0 (água sintética 2)



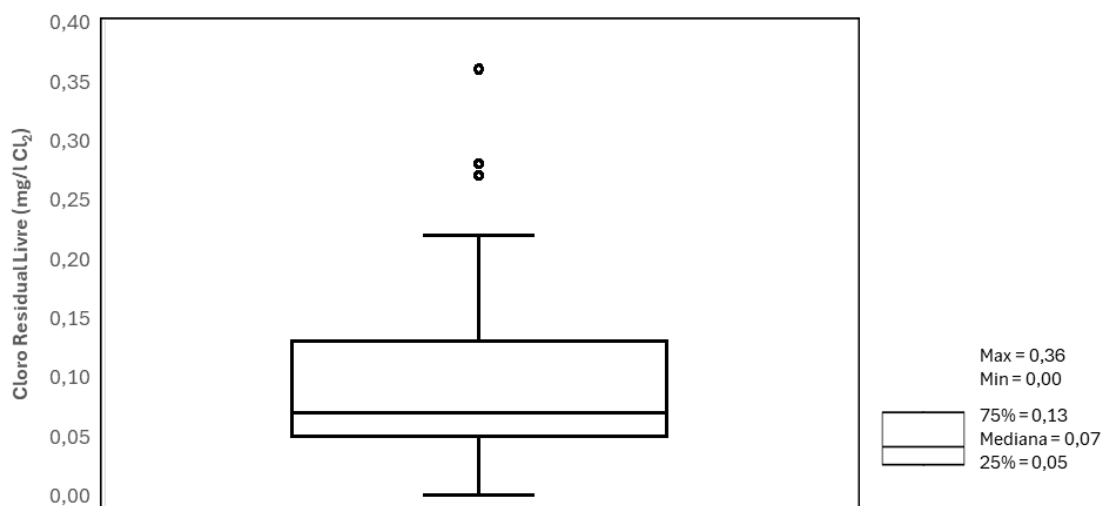
Fonte: Autor (2000)

Figura 35 - Concentração de cloro residual para o clorador com hipoclorito de cálcio, relação areia/desinfetante igual a 2,5 (água sintética 1)



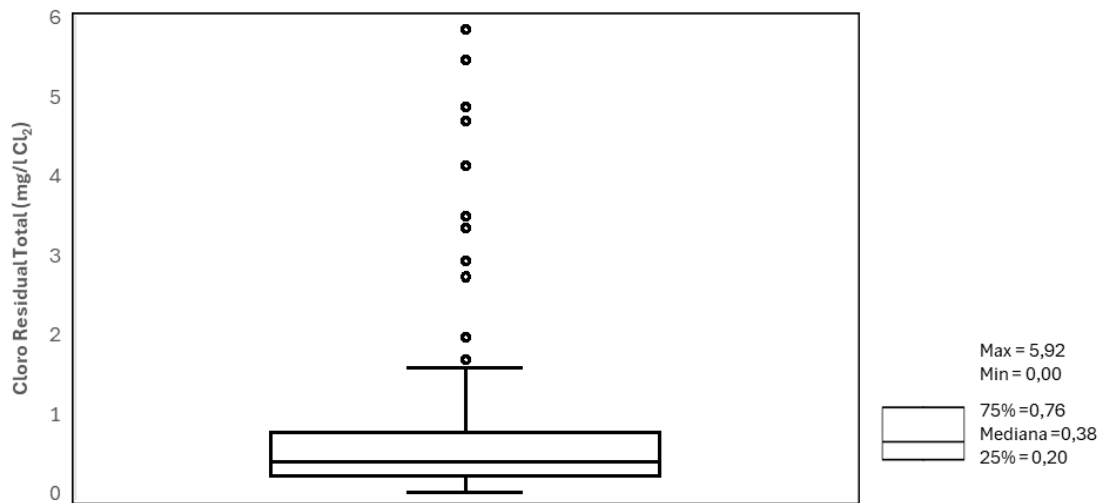
Fonte: Autor (2000)

Figura 36 - Concentração de cloro residual para o clorador com cal clorada, relação areia/desinfetante igual a 2,5 (água sintética 1)



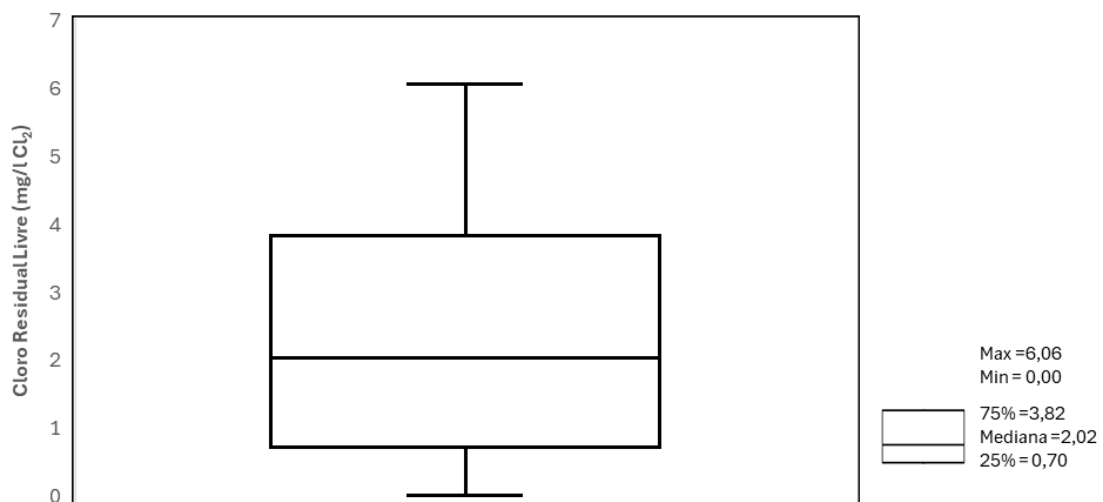
Fonte: Autor (2000)

Figura 37 - Concentração de cloro residual para o clorador com hipoclorito de cálcio, relação areia/desinfetante igual a 2,5 (água sintética 2)



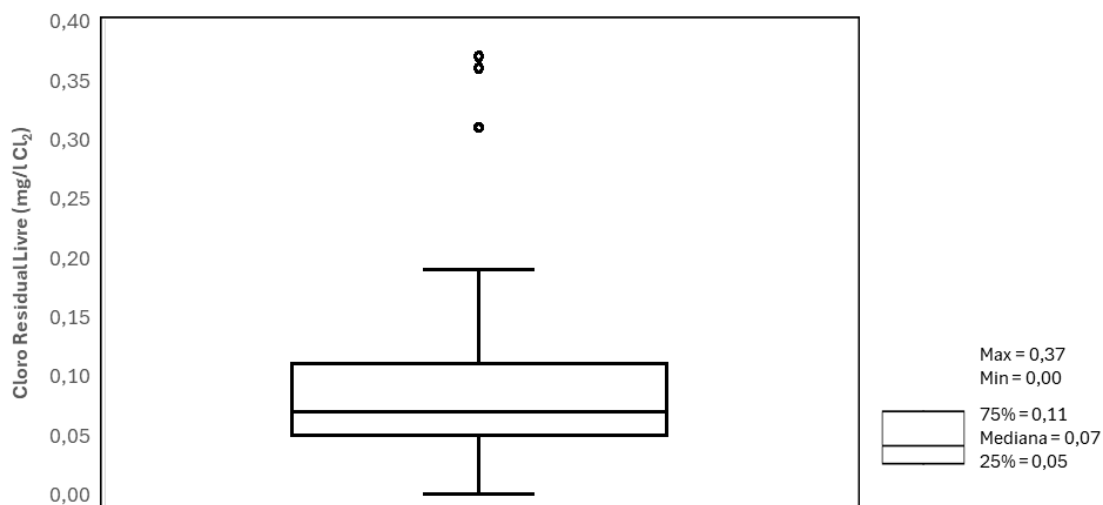
Fonte: Autor (2000)

Figura 38 - Concentração de cloro residual para o clorador com hipoclorito de cálcio, relação areia/desinfetante igual a 3,0 (água sintética 1)



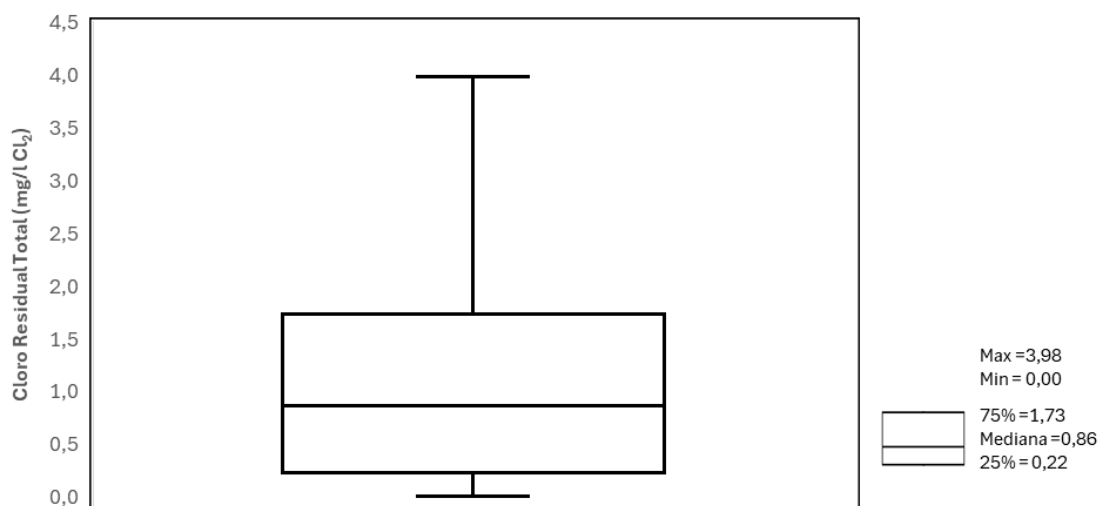
Fonte: Autor (2000)

Figura 39 - Concentração de cloro residual para o clorador com cal clorada, relação areia/desinfetante igual a 3,0 (água sintética 1)



Fonte: Autor (2000)

Figura 40 - Concentração de cloro residual para o clorador com hipoclorito de cálcio, relação areia/desinfetante igual a 3,0 (água sintética 2)



Fonte: Autor (2000)

Para sintetizar e organizar o número de informações sobre as carreiras do clorador por difusão expostas pelos gráficos anteriormente apresentados, criou-se a Tabela 6, na qual são apresentados estes dados de forma clara para uma melhor avaliação.

Tabela 6 - Estatística Básica das Carreiras do Clorador por Difusão

Desinfetante	Residual de Cloro em mg/l Cl ₂				Relação A/D	Água Sintética
	[Cloro Livre – Água Sintética 1] [Cloro Total – Água Sintética 2]					
	Intervalo		Média	Máximo		
	25%	75%				
Hipoclorito de Cálcio	0,86	5,56	3,22	8,94	2,0	1
Cal Clorada	0,04	0,17	0,06	0,42		
Hipoclorito de Cálcio	0,51	3,61	1,92	6,84	2,5	2
Hipoclorito de Cálcio	0,71	4,22	2,42	9,24.		
Cal Clorada	0,05	0,09	0,06	0,22		
Hipoclorito de Cálcio	0,17	3,48	1,33	5,92		
Hipoclorito de Cálcio	0,67	4,06	2,28	6,06	3,0	1
Cal Clorada	0,05	0,08	0,06	0,17		
Hipoclorito de Cálcio	0.11	1.87	1.18	3.98		2

Fonte: Autor (2000)

Analisando a Tabela 6 pode-se tecer algumas observações relevantes quanto ao comportamento do clorador nas condições de estudo, como por exemplo:

- Com relação ao parâmetro proporção areia/desinfetante verifica-se que não há diferença estatística entre os resultados apresentados. Quando utilizado hipoclorito de cálcio, a água sintética 1 apresentou diferença menor que a água sintética 2, sendo que, com a cal clorada obteve-se média igual em todos os testes efetuados;
- Os picos de cloro são em média 31,25% maiores na água sintética 1 que na água sintética 2;
- O limite inferior do intervalo (25%) do hipoclorito de cálcio em água sintética 1 esteve sempre acima de 0,20 mg/l Cl₂. Na água sintética 2 ficou abaixo deste valor apenas na relação 3,0;
- O hipoclorito de cálcio demonstrou valores superiores aos da cal clorada em todas as condições testadas, incluindo diferentes proporções de areia/desinfetante, tipos de água sintética e vazões avaliadas;
- Para as condições de estudo pode-se avaliar o aumento da relação areia/desinfetante ou da vazão para as proporções estudadas, pois o clorador ainda apresentaria valores de cloro residual compatíveis para a desinfecção ao final das carreiras.

6 CONCLUSÕES

Com base na revisão bibliográfica, nos resultados obtidos no decorrer do trabalho experimental e na discussão dos mesmos, conclui-se que:

- i) Dentre os desinfetantes utilizados no experimento, o hipoclorito de cálcio mostrou maior eficiência na desinfecção que a cal clorada;
- ii) Para as condições de estudo o hipoclorito de cálcio mostrou-se muito regular quanto aos residuais de cloro, apresentando na maioria dos resultados concentrações acima de 0,20 mg/l de Cl_2 , valor que preconiza a Portaria 36/90 para ponta de rede;
- iii) A cal clorada mostrou-se instável quanto aos residuais de cloro e a maioria dos resultados apresentaram-se abaixo de 0,20 mg/l de Cl_2 , conseqüentemente efetuando uma desinfecção irregular;
- iv) Para os indicadores de contaminação, *E. coli* e *Enterobacter sp.* (*Coliforme total*), residuais de cloro iguais ou superiores a 0,10 mg/l Cl_2 , foram suficientes para inativar completamente os microrganismos;
- v) Os *Colifagos* apresentaram resultados de eficiência de desinfecção muito variáveis, possivelmente em função do fator escudo e/ou técnica de determinação microbiológica não consolidada;
- vi) Ainda que especulativa, esta maior resistência dos colifagos com relação à ação do cloro, pode-se explicar pelo fator escudo maximizado pelo tamanho reduzido dos vírus e/ou pelo material proteico envoltório dos mesmos ser mais resistente à ruptura que a parede celular bacteriana;
- vii) A eficiência do clorador por difusão na desinfecção é pouco ou não afetada com a variação da carga de contaminantes, apresentando eficiência de remoção superior a 7 logs;
- viii) As relações areia/desinfetante avaliadas não apresentaram diferença significativa quanto aos residuais de cloro, mostrando que uma pequena variação na proporção recomendada por VIANA (1991), 2,5, não afeta a eficiência do clorador;

- ix) O pico da concentração de cloro residual está inversamente relacionado à magnitude da vazão afluente;
- x) Para as condições de estudo apresentadas o clorador possui capacidade de suportar vazões maiores que as utilizadas nos testes;
- xi) Vazões menores que 750 l/d podem apresentar teores elevados de cloro, podendo inibir o emprego do dispositivo pela comunidade, isto quando utilizado como desinfetante o hipoclorito de cálcio;
- xii) Apesar de uma possível menor resistência das cepas utilizadas na pesquisa, os resultados recomendam o emprego dos cloradores por difusão em escala real;
- xiii) Por fim, os resultados obtidos levantam questionamentos sobre alguns parâmetros estabelecidos pela Portaria 36/90, particularmente no que diz respeito aos padrões de turbidez para sistemas de abastecimento de pequeno porte. Considerando que a redução do cloro residual está diretamente associada à extensão da rede de distribuição, sistemas menores que mantêm pressões dinâmicas mínimas consistentemente acima de 10 m.c.a. poderiam se beneficiar da adoção desse parâmetro menos rigoroso.

7 RECOMENDAÇÕES

A partir do trabalho realizado em laboratório, relacionando-se a fundamentos teóricos, devido à necessidade de estudos mais detalhados, recomenda-se:

- A realização de estudos que indiquem o quanto ainda pode-se aumentar a vazão, mantendo um residual de cloro satisfatório;
- A realização de teste com outros indicadores de contaminação, para uma avaliação mais completa da eficiência de desinfecção;
- Estudos em águas com teores de cor e turbidez acima do que preconiza a Portaria 36/90, relacionando a aplicação do dispositivo com a formação de trihalometanos acima do recomendado;
- A não utilização indiscriminada do clorador por difusão em escala real, pois apesar da sua simplicidade, é necessária a orientação de um técnico capacitado para a aplicação inicial do dispositivo;
- A aferição do teor de cloro ativo do hipoclorito de cálcio, pois este tem vida útil limitada. Deve-se ter cuidado com a utilização de produto com o prazo de validade próximo do fim;
- Repetição dos ensaios com carreiras mais longas.

REFERÊNCIAS

ABES - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. **Catálogo brasileiro de engenharia sanitária e ambiental: guia do saneamento ambiental no Brasil – 1992/1993**. Rio de Janeiro: ABES, 1994.

ABICLOR - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ÁLCALIS E CLORO DERIVADOS; CLOROSUR - ASOCIACIÓN SUDAMERICANA DE LA INDUSTRIA DE CLORO-SODA Y DERIVADOS. **Cartilha: o cloro evita a cólera**. Brasília, 2000.

AIIC - AGÊNCIA INTERNACIONAL DE INVESTIGAÇÃO DO CÂNCER. Chlorinated drinking water; chlorination by-products; some other halogenated compounds; cobalt compounds. *IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans*, Lyon, v. 52, 1991.

APHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION; AWWA - AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION; WEF - WATER ENVIRONMENT FEDERATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 18. ed. Washington, DC: APHA, 1992.

AWWA - AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION. Water Quality Disinfection Committee. **State of the art report**. Denver: AWWA, 1991.

AZEVEDO NETTO, J. M. Cronologia do abastecimento de água até 1970. *Revista DAE*, São Paulo, v. 44, n. 37, p. 106-111, 1984.

BASTOS, R. K. X. **Controle e vigilância da qualidade de água para consumo humano**. [S. l.]: FNS/UFMG/UFV, dez. 1999. 184 p.

BERNARDES JÚNIOR, C.; CLEARY, R. W. Contaminação de águas subterrâneas por poluentes orgânicos tóxicos e cancerígenos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 5., 1988, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABAS, 1988. p. 256-265.

BRANCO, S. M. **Hidrobiologia aplicada à engenharia sanitária**. 3. ed. São Paulo: CETESB/ASCETESB, 1986. 640 p.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Normas e padrão de potabilidade da água destinada ao consumo humano, Portaria nº 36, de 19 de janeiro de 1990.** Brasília, 1990.

BULL, R. J.; KOPFLER, F. C. **Health Effects of Disinfectants and Disinfection By-products.** Denver: AWWA Research Foundation, 1991.

CEPIS - CENTRO PANAMERICANO DE ENGENHARIA SANITARIA Y CIENCIAS DEL AMBIENTE. **Selección de los sistemas de desinfección y anexos.** [S. l.], adaptado de Guias para la selección y aplicación de tecnologías de desinfección del agua para consumo humano en pueblos pequeños y comunidades rurales en América Latina y el Caribe. OPS, 1995, atualizado em 14 out. 1998. Disponível em: <http://www.cepis.ops-oms.org>. Acesso em: 5 jul. 2000.

CEPIS - CENTRO PANAMERICANO DE ENGENHARIA SANITARIA Y CIENCIAS DEL AMBIENTE. **Selección de los sistemas de desinfección y anexos.** [S. l.], adaptado de Guias para la selección y aplicación de tecnologías de desinfección del agua para consumo humano en pueblos pequeños y comunidades rurales en América Latina y el Caribe. OPS, 1995, atualizado em 14 out. 1998. Disponível em: <http://www.cepis.ops-oms.org>. Acesso em: 5 jul. 2000.

CEPIS - CENTRO PANAMERICANO DE ENGENHARIA SANITARIA Y CIENCIAS DEL AMBIENTE. [S. l.], atualizado em 18 nov. 1999. Disponível em: <http://www.cepis.ops-oms/eswww/caliagua/elagua.html>. Acesso em: 7 jul. 2000.

CEPIS - CENTRO PANAMERICANO DE INGENIERIA SANITARIA Y CIENCIAS DEL AMBIENTE. **Selección de los Sistemas de Desinfección y Anexos.** [S. l.], adaptado de Guias para la selección y aplicación de tecnologías de desinfección del agua para consumo humano en pueblos pequeños y comunidades rurales en América Latina y el Caribe/OPS, 1995, atualizado em 14 out. 1998. Disponível em: <http://www.cepis.ops-oms.org>. Acesso em: 05 jul. 2000.

CHRISTMAN, K. A.; CEPIS, OPS. **Simpósio sobre Calidad del Agua: Desinfección Efectiva.** Lima: CEPIS, OPS, 1998. p. 1-23. Disponível em: <http://www.cepis.org.pe/eswww/fulltext/aguabas/cloro/cloro.html>. Acesso em: 2 jul. 2000.

COSTA, E. B.; MOSSE, R. A. A eficiência dos cloradores por difusão na desinfecção de poços e cisternas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 13., 1985, Maceió. **Anais...** Rio de Janeiro: ABES, 1985. p. 235-239.

COULTON, F.; KOLBYE, A. (Eds.). *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, [S. l.], v. 20, n. 1 (parte 2), p. S424-S428, 1994.

CRAUN, G. F. et al. En: WATER Quality in Latin America: Balancing the Microbial and Chemical Risks in Drinking Water Disinfection. Regional Symposium on Water Quality, Argentina, 1994. Washington, D.C.: International Life Sciences Institute, 1996.

CRAUN, G. F. Waterborne Disease in the United States. In: WATER Quality in Latin America. Washington, D.C.: Pan American Health Organization, 1996. p. 55-77.

CRAUN, G. F.; BULL, R. J.; CLARK, R. M.; DOULL, J.; GRABOW, W.; MARSH, G. M.; OKUN, D. A.; REGLI, S.; SOBSEY, M. D.; SYMONS, J. M. Balancing Chemical and Microbial Risks of Drinking Water Disinfection, Part 1. Benefits and Potencial Risks. *J Water SRT-Agua*, [S. l.], v. 43, n. 4, p. 192-199, 1994.

CRAUN, G. F.; BULL, R. J.; CLARK, R. M.; DOULL, J.; GRABOW, W.; MARSH, G. M.; OKUN, D. A.; REGLI, S.; SOBSEY, M. D.; SYMONS, J. M. Balancing Chemical and Microbial Risks of Drinking Water Disinfection, Part II, Managing the Risks. *J Water SRT-Agua*, [S. l.], v. 43, n. 5, p. 207-218, 1994.

CUSTODIO, E.; LLAMAS, M. R. **Hidrologia Subterrânea**. 2. ed. Barcelona: Omega, 1983.

FIGUEIREDO, R. F.; PARDO, S. D. A.; FILHO, B. C. Fatores que Influenciam a Formação de Trihalometanos em Águas de Abastecimento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 20., 1999, Rio de Janeiro. **Arquivos da ABES**, [S. l.]: ABES, 1999. CD-ROM. ISSN II - 056.

FORD, T. E.; COLWELL, R. R. **A Global Decline in Microbiological Safety of Water: A Call for Action**. Washington: American Academy of Microbiology, 1996.

FOSTER, S. D.; ROCHA, G. A. Riscos de poluição de águas subterrâneas: uma proposta metodológica de avaliação regional. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 5., 1988, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABAS, 1988. p. 138-145.

GALAL-GORCHEV, H. WHO guidelines for drinking-water quality. *Water Supply*, Oxford, v. 11, n. 3/4, p. 1-16, 1993.

GOMES, M. A. F. Qualidade das águas subterrâneas e suas relações com as atividades agrícolas. In: MESA-REDONDA: *Agricultura e qualidade da água*, 12., 2000, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Instituto Biológico, 2000. Disponível em: http://www.geocities.com/~esabio/agua/qualidade_da_agua.htm. Acesso em: 31 jul. 2000.

GONZAGA, A. S. M. **Clorador por Difusão: Avaliação de Desempenho e de Parâmetros de Projeto**. 1996. 72 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola de Engenharia da UFMG, Belo Horizonte, 1996.

HAAS, C. N. Disinfection. In: WATER Quality and Treatment. 4. ed. USA: McGraw Hill, 1990. cap. 14, p. 877-932.

HAAS, C. N.; JOFFE, J.; ANMANGANDLA, U.; HORNBERGER, J. C. **Development and Validation of Rational Design Methods of Disinfection**. USA: AWWA, 1995. 167 p.

HOSANA, A. T. **Página Conhecendo a Água na Internet**, [S. l.], atualizado em 09 maio 1997a. Disponível em: <http://www.geocities.com/athens/forum/5265/dominio.htm>. Acesso em: 12 jul. 2000.

HOSANA, A. T. **Página Conhecendo a Água na Internet**, [S. l.], atualizado em 09 maio 1997b. Disponível em: <http://www.geocities.com/ahens/forum/5265/subterra.htm>. Acesso em: 12 jul. 2000.

IAV - INSTITUTO AMBIENTAL VIVÁGUA. [S. l.], atualizado em 19 jul. 2000. Disponível em: <http://home.techno.com.br/vidagua/projetos/agua.htm>. Acesso em: 20 jul. 2000.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Diretoria de Pesquisas. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico - PNSB 1989**. Rio de Janeiro, 1992.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Diretoria de Pesquisas. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios - PNAD: Síntese de indicadores 1995**. Rio de Janeiro, 1996. 135 p.

ILSI - INTERNATIONAL LIFE SCIENCE INSTITUTE. **Na Evaluation of EPA's Proposed guidelines for Carcinogen Risk Assessment Using Chloroform and Dichloroacetate as Case Studies. Report of na Expert Panel**. [S. l.], nov. 1997.

LIBÂNIO, M.; VON SPERLING, E.; BASTOS, R. K. X.; HELLER, L. **Controle e Vigilância da Água de Consumo Humano**. Brasília: FNS/COVAM/CENEPI, 2000. 221 p.

LIPEL, M. Eficiência na desinfecção de poços freáticos por garrafas cloradoras simplificadas. In: SILUBESA - SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, VI, 1994, Florianópolis. **Anais...** Rio de Janeiro: APRH-ABES, 1995. p. 132-146.

MACEDO, J. A. B.; ANDRADE, N. J.; CHAVES, J. B. P.; ARAÚJO, J. M. A.; SILVA, M. T. C.; JORDÃO, C. P. Formação de trihalometanos em soluções sanificantes utilizadas no processo de desinfecção de indústrias de alimentação. *Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes*, Juiz de Fora, v. 54, n. 309, p. 216-230, 1999.

MADIGAN, M. T.; MARTINKO, J. M.; PARKER, J. **Biology of microorganisms**. 8. ed. Upper Saddle River: Prentice-Hall Inc., 1996. 875 p.

MONTGOMERY, J. M. Disinfection. In: *WATER Treatment Principles and Design*. New York: Wiley-Interscience Publication, 1985. v. II, cap. 12, p. 262-283.

MORRIS, J. C. **Aqueous Chlorine in the Treatment of Water Supplies**. Cambridge: Harvard University, 1985.

MORRIS, J. C. Health perspective in the oxidative treatment of water for potable supply. Tart 2. Health assessment of current oxidant-desinfectants. Leidschendam, the Netherlands: National Institute for Water Supply, 1982.

NORDERMANN, M.; REBOUÇAS, A. C. Comportamento geoquímico de íons em águas de chuva e subterrânea. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 4., 1986, Brasília, DF. **Anais...** São Paulo: ABAS, 1986. p. 221-230.

ORIHUELA, R.; BALLANCE, R. C.; NOVICK, R. Aspectos de interes internacional de la cloracion del agua. *Boletín de la Oficina Sanitaria Panamericana*, Washington, p. 373-388, nov. 1979.

PACHECO, A.; MENDES, J. M. B. O problema geo-ambiental da localização de cemitérios em meio urbano. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 5., 1988, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABAS, 1988. p. 207-215.

PEREIRA, A. M. S.; LUCA, S. J. Análise de Trihalometanos em Águas de Abastecimento Público. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 15., 1989, Belém. **Anais...** Rio de Janeiro: ABES, 1989. p. 611-620.

REBOUÇAS, A. C. et al. Efeitos da infiltração do vinhoto de cana no aquífero Bauru. Resultados preliminares. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 4., 1986, Brasília, DF. **Anais...** São Paulo: ABAS, 1986. p. 184-193.

REGLI, S.; BERGER, P.; MACLER, B.; HAAS, C. Proposed Decision Tree for Management of Risks in Drinking Water: Consideration for Health and Socioeconomic Factors. In: SAFETY OF WATER DISINFECTION: Balancing Chemical & Microbial Risks, First International Conference on the Safety of Water Disinfection, Washington, DC, 1992. Washington: International Life Sciences Institute, 1993. p. 39-80.

RIVIÈRE, J. W. M. Threats to the World's Water - Scientific American, special issue - Managing Planet Earth, 1989a. **Página do Instituto Biológico de São Paulo**, [S. l.], atualizado em 31 mar. 2000. Disponível em: <http://www.geocities.com/~esabio/agua/agua.htm>. Acesso em: 18 jul. 2000.

RIVIÈRE, J. W. M. Threats to the World's Water - Scientific American, special issue - Managing Planet Earth, 1989b. **Página do Instituto Biológico de São Paulo**, [S. l.], atualizado em 31 mar. 2000. Disponível em: <http://www.geocities.com/~esabio/agua/agua3.htm>. Acesso em: 18 jul. 2000.

ROSA FILHO, E. F.; BARROS, P. A. L. Tracing experiments performed at shallow aquifer - region St Georgen - Graaz - Austria. *Águas Subterrâneas*, São Paulo, n. 11, p. 73-78, abr. 1986.

TARDIFF, R. G. **Balancing Risks from Chemical Carcinogens & Waterborne Infectious Microbes: A Conceptual Framework**. Washington, DC: US EPA Advisory Committee to Negotiate the disinfection By-products Rule, 1993.

TURSSELL, R. R. Control Strategy 1: Alternative Oxidants and Disinfectants. In: ANNUAL AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION CONFERENCE, 98., 1991. [S. l.].

USEPA - ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Alternative disinfectants and oxidants guidance manual**. New York, USA, 1999.

VALENCIA, J. A. Teoria de la Desinfección del Agua. In: TEORIA y Práctica de la Purificación del Agua. Colômbia: ACODAL, 1992. p. 684.

VIANA, F. C. **Construção de poços rasos - cisternas - e uso de cloradores por difusão**. 4. ed. Belo Horizonte: Pró-reitoria de Extensão - UFMG, 1991.

VIANA, F. C.; CARVALHO, A. C. F. B. Efeito dos cloradores simplificados sobre a qualidade bacteriológica de água de poços rasos (cisternas) na comunidade de Bom Jardim - Ibité - MG. *Arquivos Brasileiros de Medicina Veterinária e Zootecnia*, Belo Horizonte, v. 36, n. 3, p. 303-319, maio 1984.

WHITE, G. C. **Handbook of Chlorination**. New York: Van Nostrand Reinhold Company Inc., 1986. 965 p.

APÊNDICE A – Resultados dos Experimentos

Água Sintética 1 (Hipoclorito de Cálcio) - Relação A/D = 2,5 - Sem contaminação

DIA	B1-CT	B2-CT	B3-CT	B1-VZ	B2-VZ	B3-VZ
0,00	0,00	0,00	0,00	746,40	1.311,90	1.877,40
0,08	0,31	0,69	0,25	746,40	1.311,90	1.866,10
0,17	0,11	0,16	0,14	735,10	1.334,50	1.922,70
0,21	0,22	0,22	0,14	701,20	1.357,20	1.922,70
0,25	0,23	0,20	0,10	735,10	1.311,90	1.854,80
0,29	0,24	0,17	0,10	746,40	1.311,90	1.877,40
0,38	0,18	0,23	0,03	723,80	1.311,90	1.877,40
0,42	0,29	0,27	0,08	723,80	1.311,90	1.877,40
1,00	0,82	0,53	0,31	746,40	1.300,60	1.866,10
1,08	0,90	0,62	0,42	746,40	1.278,00	1.877,40
1,25	1,47	1,20	0,72	769,10	1.266,70	1.832,20
1,38	1,84	1,40	0,95	735,10	1.311,90	1.843,50
1,54	2,22	2,12	1,50	746,40	1.323,20	1.877,40
2,00	6,80	5,70	3,15	735,10	1.334,50	1.877,40
2,17	6,66	5,07	3,28	746,40	1.357,20	1.877,40
2,33	8,58	4,00	3,91	712,50	1.311,90	1.922,70
2,50	7,64	5,42	4,00	746,40	1.289,30	1.866,10
3,00	6,56	4,74	2,86	678,60	1.278,00	1.854,80
3,17	6,34	4,32	2,32	757,80	1.300,60	1.843,50
3,50	6,68	3,56	2,00	735,10	1.311,90	1.877,40
4,00	7,24	3,16	1,66	701,20	1.300,60	1.866,10
4,17	5,10	3,04	1,54	757,80	1.289,30	1.832,20
4,33	4,80	2,96	1,60	746,40	1.311,90	1.900,00
4,50	4,50	3,00	1,40	735,10	1.323,20	1.900,00
5,00	3,90	2,90	1,30	746,40	1.334,50	1.877,40
5,17	3,80	2,70	1,28	746,40	1.311,90	1.911,30
5,33	3,40	2,80	1,16	746,40	1.300,60	1.922,70
5,50	3,10	2,60	1,08	712,50	1.311,90	1.877,40
6,00	2,60	2,30	1,03	701,20	1.311,90	1.854,80
6,17	2,70	3,10	1,12	769,10	1.311,90	1.866,10
6,33	2,20	2,20	1,15	769,10	1.311,90	1.877,40
6,50	2,00	1,90	1,13	791,70	1.311,90	1.877,40
7,00	1,90	1,60	1,02	746,40	1.289,30	1.866,10
7,17	1,50	1,40	1,01	723,80	1.311,90	1.888,70
7,33	1,70	1,50	1,00	712,50	1.311,90	1.877,40
7,50	1,60	1,30	1,00	746,40	1.311,90	1.888,70

DIA	B1-CT	B2-CT	B3-CT	B1-VZ	B2-VZ	B3-VZ
8,00	1,40	1,30	1,03	746,40	1.289,30	1.866,10
8,17	1,30	1,10	0,95	746,40	1.311,90	1.877,40
8,33	1,10	1,00	0,90	746,40	1.266,70	1.877,40
8,50	1,00	1,00	0,85	735,10	1.311,90	1.854,80
9,00	1,00	0,96	0,80	723,80	1.300,60	1.900,00
9,17	0,98	0,86	0,81	723,80	1.311,90	1.877,40
9,33	0,90	0,80	0,74	712,50	1.311,90	1.877,40
9,50	0,70	0,60	0,72	701,20	1.311,90	1.900,00
10,00	0,60	0,57	0,60	746,40	1.289,30	1.877,40
10,17	0,70	0,55	0,50	746,40	1.278,00	1.854,80
10,33	0,62	0,50	0,45	746,40	1.311,90	1.877,40
10,50	0,68	0,45	0,40	746,40	1.334,50	1.877,40
11,00	0,54	0,43	0,38	746,40	1.345,90	1.877,40
11,17	0,59	0,49	0,34	757,80	1.345,90	1.877,40
11,33	0,60	0,43	0,39	735,10	1.311,90	1.877,40
11,50	0,53	0,39	0,31	735,10	1.311,90	1.866,10
12,00	0,53	0,39	0,29	746,40	1.311,90	1.877,40

B1-CT = Bombona 01 - Cloro total em mg/l Cl_2

B2-CT = Bombona 02 - Cloro total em mg/l Cl_2

B3-CT = Bombona 03 - Cloro total em mg/l Cl_2

B1-VZ = Bombona 01 - Vazão em l/d

B2-VZ = Bombona 02 - Vazão em l/d

B3-VZ = Bombona 03 - Vazão em l/d

* Abreviaturas válidas para todas as tabelas contidas neste capítulo.

Água Sintética 2 (Hipoclorito de Cálcio) - Relação A/D = 2,5 - Sem contaminação

DIA	B1-CT	B2-CT	B3-CT	B1-VZ	B2-VZ	B3-VZ
0,00	0,00	0,00	0,00	746,40	1.311,90	1.877,40
0,77	0,07	0,11	0,09	746,40	1.311,90	1.877,40
1,10	0,28	0,25	0,17	746,40	1.311,90	1.945,30
1,88	1,35	1,33	0,76	746,40	1.311,90	1.877,40
2,17	5,46	4,68	1,67	746,40	1.323,20	1.877,40
2,94	5,92	4,86	2,92	746,40	1.311,90	1.877,40
4,00	5,84	3,48	1,96	746,40	1.311,90	1.877,40
4,75	4,12	1,57	0,75	735,10	1.311,90	1.866,10
4,98	3,34	0,90	0,46	723,80	1.300,60	1.888,70
5,77	2,72	1,01	0,43	769,10	1.311,90	1.900,00
5,98	1,16	0,61	0,25	746,40	1.311,90	1.877,40
6,98	1,21	0,52	0,24	735,10	1.311,90	1.866,10
9,98	1,36	0,42	0,23	746,40	1.323,20	1.877,40
10,73	0,97	0,48	0,20	746,40	1.300,60	1.877,40
11,02	0,81	0,50	0,22	746,40	1.300,60	1.877,40
11,73	0,77	0,48	0,21	746,40	1.311,90	1.877,40
12,10	0,65	0,45	0,19	735,10	1.311,90	1.877,40
12,77	0,51	0,41	0,15	723,80	1.311,90	1.877,40
14,15	0,53	0,39	0,18	757,80	1.311,90	1.877,40
15,10	0,49	0,43	0,19	746,40	1.311,90	1.877,40
16,17	0,45	0,40	0,21	769,10	1.311,90	1.877,40
17,19	0,49	0,35	0,20	723,80	1.311,90	1.866,10
18,23	0,39	0,33	0,16	735,10	1.311,90	1.877,40
19,19	0,33	0,31	0,17	746,40	1.311,90	1.877,40
20,15	0,37	0,29	0,19	746,40	1.311,90	1.877,40
21,23	0,34	0,31	0,18	746,40	1.311,90	1.854,80
22,27	0,36	0,24	0,16	746,40	1.311,90	1.877,40
23,23	0,38	0,19	0,14	746,40	1.311,90	1.877,40
24,19	0,44	0,21	0,19	746,40	1.311,90	1.866,10
25,27	0,32	0,20	0,16	746,40	1.311,90	1.877,40
26,00	0,31	0,19	0,15	746,40	1.300,60	1.877,40

Água Sintética 1 (Hipoclorito de Cálcio) - Relação A/D = 2,0 - *E. coli*

D/A	B1-CT	B2-CT	B3-CT	B1-VZ	B2-VZ	B3-VZ	CONT-CX	CONT-B1	CONT-B2	CONT-B3
0,00	0,00	0,00	0,00	757,80	1.300,60	1.854,80	>2,4x10 ⁶			
0,06	0,12	0,09	0,10	735,10	1.357,20	1.900,00				
0,10	0,11	0,09	0,08	746,40	1.311,90	1.877,40		<1	<1	<1
0,69	0,67	0,56	0,17	701,20	1.300,60	1.854,80		<1	<1	<1
0,85	1,66	2,62	0,62	723,80	1.311,90	1.877,40		<1	<1	<1
1,02	1,86	2,94	0,86	746,40	1.311,90	1.877,40	1x10 ³	<1	<1	<1
1,15	3,65	3,75	1,44	712,50	1.289,30	1.877,40		<1	<1	<1
1,60	5,06	6,32	3,19	723,80	1.311,90	1.877,40		<1	<1	<1
1,71	7,04	6,22	3,22	746,40	1.311,90	1.877,40				
1,94	7,20	7,86	3,62	746,40	1.311,90	1.866,10				
2,10	8,94	8,00	6,12	769,10	1.311,90	1.854,80				
2,60	7,54	6,28	4,70	746,40	1.289,30	1.877,40				
2,73	7,46	6,07	3,54	746,40	1.311,90	1.877,40				
2,94	6,56	5,10	2,96	746,40	1.311,90	1.877,40				
3,10	6,10	4,68	2,70	746,40	1.311,90	1.877,40				
3,63	5,56	3,63	2,15	746,40	1.289,30	1.843,50				
3,79	5,12	3,31	1,75	791,70	1.311,90	1.922,70				
4,10	5,08	2,11	1,25	746,40	1.266,70	1.877,40				
4,71	4,52	1,10	0,71	746,40	1.311,90	1.854,80				
5,78	3,07	1,30	0,79	746,40	1.300,60	1.877,40				
7,60	2,73	0,93	0,64	746,40	1.311,90	1.877,40	2,4x10 ⁴	<1	<1	<1

CONT-CX = Resultado Bacteriológico da Caixa de Distribuição em NMP/100 ml

CONT-CX = Resultado Bacteriológico do Efluente da Bombona 01 em NMP/100 ml

CONT-CX = Resultado Bacteriológico do Efluente da Bombona 02 em NMP/100 ml

CONT-CX = Resultado Bacteriológico do Efluente da Bombona 03 em NMP/100 ml

* Abreviaturas válidas para todas as tabelas contidas neste capítulo.

Água Sintética 1 (Hipoclorito de Cálcio) - Relação A/D = 2,5 - *E. coli*

DIA	B1-CT	B2-CT	B3-CT	B1-VZ	B2-VZ	B3-VZ	CONT-CX	CONT-B1	CONT-B2	CONT-B3
0,00	0,00	0,00	0,00	769,10	1.334,50	1.911,30	6,3x10 ³			
0,08	0,19	0,72	0,13	735,10	1.266,70	1.854,80		<1	<1	<1
0,17	0,16	0,54	0,11	791,70	1.357,20	1.900,00		<1	<1	<1
0,25	0,14	0,51	0,13	723,80	1.266,70	1.854,80	2,6x10 ⁴	<1	<1	<1
0,45	0,22	0,34	0,17	746,40	1.311,90	1.877,40		<1	<1	<1
0,95	1,28	0,71	1,40	791,70	1.357,20	1.854,80		<1	<1	<1
1,11	2,62	1,89	2,47	791,70	1.244,10	1.911,30				
1,28	4,52	2,26	3,08	791,70	1.266,70	1.900,00				
1,36	5,74	2,87	4,03	791,70	1.266,70	1.877,40				
1,95	7,86	5,14	4,22	723,80	1.244,10	1.854,80				
2,11	8,56	5,62	3,78	746,40	1.379,80	1.877,40	1,7x10 ⁷	<1	<1	<1
2,39	9,24	5,10	2,58	746,40	1.311,90	1.877,40		<1	<1	<1
2,95	7,66	3,44	2,42	701,20	1.244,1	1.922,70	>2,4x10 ⁵	<1	<1	<1
3,11	7,00	3,20	2,22	723,80	1.357,20	1.900,00		<1	<1	<1
3,28	6,80	2,45	2,10	746,40	1.311,90	1.900,00		<1	<1	<1
3,41	6,50	2,48	2,42	769,10	1.311,90	1.877,40				
3,97	5,02	2,04	1,80	769,10	1.334,50	1.900,00				
4,11	4,59	2,24	1,35	735,10	1.300,60	1.866,10				
4,50	3,63	1,76	1,24	746,40	1.311,90	1.877,40	>2,4x10 ⁵	<1	<1	<1

Água Sintética 1 (Hipoclorito de Cálcio) - Relação A/D = 3,0 - E. coli

DIA	B1-CT	B2-CT	B3-CT	B1-VZ	B2-VZ	B3-VZ	CONT-CX	CONT-B1	CONT-B2	CONT-B3
0,00	0,00	0,00	0,00	791,60	1.311,90	1.922,60	5,3x10 ⁵			
0,13	0,20	0,20	0,31	746,40	1.311,90	1.922,60				
0,15	0,09	0,15	0,23	746,40	1.311,90	1.922,60		3,9x10 ²	<1	<1
0,31	0,03	0,05	0,10	791,60	1.323,20	1.809,50	2,0x10 ⁵	1,7x10 ³	6,9x10 ²	<1
0,79	0,05	0,25	0,67	712,50	1.311,90	1.877,40		<1	<1	<1
0,96	0,40	0,70	1,77	746,40	1.311,90	1.877,40		<1	<1	<1
1,13	0,63	1,66	2,29	723,80	1.323,20	1.832,10		<1	<1	<1
1,29	1,42	2,99	3,64	791,60	1.311,90	1.922,60				
1,79	4,22	4,58	5,68	701,20	1.266,60	1.809,50				
1,85	4,70	5,10	5,64	769,00	1.266,60	1.832,10				
2,04	4,66	5,06	3,82	769,00	1.334,50	1.922,60				
2,21	5,52	5,22	3,52	757,70	1.289,31	1.911,30				
2,38	6,06	5,81	3,09	735,10	1.323,20	1.877,40				
2,88	5,46	4,06	2,01	723,80	1.278,00	1.877,40	6,0x10 ⁴	<1	<1	<1
3,04	5,10	3,44	2,44	746,40	1.357,10	1.877,40		<1	<1	<1
3,21	4,74	2,55	1,83	746,40	1.357,10	1.877,41				
3,33	4,49	2,64	1,66	757,70	1.357,10	1.854,70				
3,88	3,63	2,54	1,18	735,10	1.334,50	1.877,40				
4,04	3,22	2,27	1,07	723,80	1.334,50	1.866,10	>1,0x10 ⁴	<1	<1	<1
4,21	2,99	1,93	1,11	723,80	1.334,50	1.866,10		<1	<1	<1
4,38	3,00	2,02	1,09	746,40	1.311,90	1.877,40				
4,90	2,44	1,76	0,97	712,50	1.289,30	1.866,10				
5,35	1,29	1,23	0,90	746,40	1.311,90	1.877,40	>2,4x10 ⁴	<1	<1	<1

Água Sintética 1 (Hipoclorito de Cálcio) - Relação A/D = 3,0 - *Enterobacter*

D/A	B1-CT	B2-CT	B3-CT	B1-VZ	B2-VZ	B3-VZ	CONT-CX	CONT-B1	CONT-B2	CONT-B3
0,00	0,00	0,00	0,00	791,60	1.311,90	1.922,60	2,4x10 ⁶			
0,13	0,20	0,20	0,31	746,40	1.311,90	1.922,60				
0,15	0,09	0,15	0,23	746,40	1.311,90	1.922,60		2,4x10 ²	<1	<1
0,31	0,03	0,05	0,10	791,60	1.323,20	1.809,50	2,0x10 ⁵	>2,4x10 ²	>2,4x10 ²	<1
0,79	0,05	0,25	0,67	712,50	1.311,90	1.877,40		>2,4x10 ²	<1	<1
0,96	0,40	0,70	1,77	746,40	1.311,90	1.877,40		<1	<1	<1
1,13	0,63	1,66	2,29	723,80	1.323,20	1.832,10		<1	<1	<1
1,29	1,42	2,99	3,64	791,60	1.311,90	1.922,60				
1,79	4,22	4,58	5,68	701,20	1.266,60	1.809,50				
1,85	4,70	5,10	5,64	769,00	1.266,60	1.832,10				
2,04	4,66	5,06	3,82	769,00	1.334,50	1.922,60				
2,21	5,52	5,22	3,52	757,70	1.289,31	1.911,30				
2,38	6,06	5,81	3,09	735,10	1.323,20	1.877,40				
2,88	5,46	4,06	2,01	723,80	1.278,00	1.877,40	4,4x10 ⁵	<1	<1	<1
3,04	5,10	3,44	2,44	746,40	1.357,10	1.877,40		<1	<1	<1
3,21	4,74	2,55	1,83	746,40	1.357,10	1.877,40				
3,33	4,49	2,64	1,66	757,70	1.357,10	1.854,70				
3,88	3,63	2,54	1,18	735,10	1.334,50	1.877,40				
4,04	3,22	2,27	1,07	723,80	1.334,50	1.866,10	2,4x10 ⁷	<1	<1	<1
4,21	2,99	1,93	1,11	723,80	1.334,50	1.866,10		<1	<1	<1
4,38	3,00	2,02	1,09	746,40	1.311,90	1.877,40				
4,90	2,44	1,76	0,97	712,50	1.289,30	1.866,10				
5,35	1,29	1,23	0,90	746,40	1.311,90	1.877,40	>2,4x10 ⁷	<1	<1	<1

Água Sintética 1 (Cal Clorada) - Relação A/D = 2,0 - Sem Contaminação

DIA	B1-CT	B2-CT	B3-CT	B1-VZ	B2-VZ	B3-VZ	CONT-CX	CONT-B1	CONT-B2	CONT-B3
0,00	0,00	0,00	0,00	746,40	1.311,90	1.877,40				
0,06	0,06	0,05	0,05	757,80	1.311,90	1.877,40				
0,19	0,01	0,04	0,01	791,70	1.357,20	1.832,20				
0,35	0,04	0,09	0,04	746,40	1.266,7	1.854,80				
0,90	0,05	0,14	0,04	746,40	1.289,30	1.900,00				
1,06	0,06	0,18	0,05	746,40	1.266,70	1.900,00				
1,23	0,02	0,21	0,01	712,50	1.311,90	1.877,40				
1,35	0,05	0,31	0,04	780,40	1.289,30	1.900,00				
1,92	0,14	0,26	0,06	746,40	1.266,70	1.900,00				
2,21	0,15	0,40	0,08	701,20	1.311,90	1.877,40				
3,25	0,36	0,42	0,16	769,10	1.311,90	1.900,00				
4,90	0,40	0,09	0,21	746,40	1.311,90	1.877,40				
5,23	0,30	0,03	0,14	746,40	1.311,90	1.877,40				
5,35	0,28	0,09	0,17	746,40	1.311,90	1.877,40				
5,92	0,21	0,11	0,08	746,40	1.311,90	1.877,40				

Problema de contaminação na cepa de *E. coli*

Água Sintética 1 (Cal Clorada) - Relação A/D = 2,5 - Contaminação *Enterobacter*

DIA	B1-CT	B2-CT	B3-CT	B1-VZ	B2-VZ	B3-VZ	CONT-CX	CONT-B1	CONT-B2	CONT-B3
0,00	0,00	0,00	0,00	746,40	1.311,90	1.877,40				
0,17	0,14	0,22	0,13	746,40	1.311,90	1.877,40	>2,4x10 ⁶			
0,35	0,14	0,22	0,11	746,40	1.311,90	1.877,40				
0,98	0,07	0,09	0,05	735,10	1.289,30	1.854,80		>2,3x10 ³	>2,3x10 ³	>2,3x10 ³
1,10	0,06	0,07	0,05	735,10	1.289,30	1.877,40				
1,27	0,05	0,07	0,05	746,40	1.311,90	1.877,40	>2,4x10 ⁶	>2,3x10 ³	4,2x10 ²	>2,3x10 ³
1,40	0,05	0,05	0,05	723,80	1.334,50	1.900,00				
1,94	0,07	0,06	0,06	735,10	1.334,50	1.877,40	>2,4x10 ⁶	1,5x10 ²	<1	<1
2,27	0,04	0,05	0,04	746,40	1.311,90	1.877,40				
2,33	0,05	0,06	0,05	746,40	1.311,90	1.900,00				
3,02	0,06	0,09	0,07	746,40	1.311,90	1.877,40				
3,27	0,04	0,08	0,09	746,40	1.289,30	1.877,40				
4,35	0,06	0,17	0,11	712,50	1.323,20	1.877,40				
6,06	0,15	0,27	0,11	757,80	1.357,20	1.877,40	>2,4x10 ⁶	<1	<1	<1
6,27	0,16	0,28	0,10	746,40	1.311,90	1.877,40		<1	<1	<1
6,98	0,19	0,36	0,11	735,10	1.311,90	1.854,80		<1	<1	<1
7,35	0,08	0,13	0,06	735,10	1.289,30	1.877,40				
8,02	0,18	0,15	0,08	746,40	1.311,90	1.877,40				

Água Sintética 1 (Cal Clorada) - Relação A/D = 3,0 - Contaminação *Enterobacter*

DIA	B1-CT	B2-CT	B3-CT	B1-VZ	B2-VZ	B3-VZ	CONT-CX	CONT-B1	CONT-B2	CONT-B3
0,00	0,00	0,00	0,00	746,40	1.311,90	1.877,40	>2,4x10 ⁶			
0,10	0,03	0,11	0,12	746,40	1.311,90	1.877,40				
0,23	0,05	0,10	0,17	701,20	1.289,30	1.843,50	>2,4x10 ⁶	<1	<1	<1
0,88	0,06	0,08	0,08	746,40	1.357,20	1.854,80		<1	<1	<1
1,10	0,04	0,08	0,07	791,70	1.311,90	1.877,40	>2,4x10 ⁶	4,9x10 ¹	<1	<1
1,83	0,06	0,05	0,04	769,10	1.289,30	1.866,10				
2,15	0,13	0,07	0,05	712,50	1.334,50	1.877,40				
2,90	0,09	0,06	0,05	712,50	1.311,90	1.877,40				
3,19	0,11	0,06	0,05	723,80	1.311,90	1.877,40				
4,06	0,16	0,08	0,05	723,80	1.311,90	1.866,10	>2,4x10 ⁷	<1	<1	<1
4,88	0,12	0,09	0,04	746,40	1.311,90	1.888,70		<1	<1	3,1x10 ¹
5,13	0,14	0,18	0,06	746,40	1.311,90	1.877,40				
5,83	0,36	0,19	0,07	746,40	1.311,90	1.877,40				
6,02	0,37	0,10	0,04	746,40	1.311,90	1.877,40				
6,77	0,31	0,10	0,04	746,40	1.311,90	1.877,40	>2,4x10 ⁷	<1	<1	<1

Água Sintética 2 (Hipoclorito de Cálcio) - Relação A/D = 2,0 - Contaminação Colifagos

DIA	B1-CT	B2-CT	B3-CT	B1-VZ	B2-VZ	B3-VZ	CONT-CX	CONT-B1	CONT-B2	CONT-B3
0,00	0,00	0,00	0,00	746,40	1.311,90	1.877,40	1.600			
0,13	1,00	0,44	0,51	746,40	1.311,90	1.877,40		600	400	200
0,98	0,57	0,83	0,24	723,80	1.278,00	1.888,70	1.000	750	900	400
1,13	0,50	1,11	0,25	757,80	1.323,20	1.911,30		250	300	500
1,96	1,90	1,97	0,99	746,40	1.311,90	1.877,40	500	140	40	10
2,13	5,62	2,88	1,78	769,10	1.345,90	1.877,40		20	10	60
2,98	6,84	5,68	3,82	723,80	1.300,60	1.888,70	2.600	85	185	50
3,42	4,34	4,07	2,89	746,40	1.311,90	1.877,40		20	15	10
4,17	3,78	3,61	2,24	746,40	1.311,90	1.877,40				
5,21	2,60	2,88	1,94	735,10	1.311,90	1.866,10				
6,00	2,30	1,90	1,52	746,40	1.311,90	1.877,40				
7,00	1,90	1,56	1,25	746,40	1.289,30	1.877,40				
9,00	1,87	1,12	0,90	746,40	1.311,90	1.877,40				
9,44	0,98	0,80	0,79	746,40	1.311,90	1.877,40				
10,08	0,90	0,81	0,73	746,40	1.311,90	1.877,40				
11,13	0,81	0,74	0,54	746,40	1.311,90	1.877,40				

Água Sintética 2 (Hipoclorito de Cálcio) - Relação A/D = 3,0 - Contaminação *Enterobacter*

DIA	B1-CT	B2-CT	B3-CT	B1-VZ	B2-VZ	B3-VZ	CONT-CX	CONT-B1	CONT-B2	CONT-B3
0,00	0,00	0,00	0,00	746,40	1.311,90	1.911,30	>2,4x10 ⁶			
0,69	0,09	0,09	0,06	746,40	1.311,90	1.854,80		<1	<1	<1
0,90	0,07	0,07	0,07	746,40	1.311,90	1.900,00		<1	<1	<1
1,08	0,13	0,13	0,22	746,40	1.357,20	1.854,80	>2,4x10 ⁶	<1	<1	<1
1,69	1,79	1,14	1,16	791,70	1.266,7	1.877,40		<1	<1	<1
1,90	2,42	1,73	1,37	746,40	1.311,90	1.854,80		<1	<1	<1
2,02	2,62	1,85	1,54	746,40	1.300,60	1.911,30				
2,69	2,70	2,60	1,89	757,80	1.311,90	1.900,00				
2,98	3,98	1,91	1,63	746,40	1.323,20	1.877,40				
4,65	3,47	1,69	0,76	746,40	1.311,90	1.854,80				
4,90	2,88	1,20	0,64	735,10	1.311,90	1.877,40				
5,08	1,20	0,48	0,38	746,40	1.311,90	1.877,40	>2,4x10 ⁶	<1	<1	<1
5,65	0,91	0,33	0,27	746,40	1.311,90	1.922,70		<1	<1	<1
5,90	0,90	0,46	0,29	746,40	1.323,20	1.900,00				
6,63	0,86	0,43	0,24	746,40	1.311,90	1.900,00	>2,4x10 ⁶	<1	<1	<1

ANEXO A – Procedimentos de Análises Bacteriológicas, Físicas e Químicas

1. ANÁLISE DE *Colifagos*

1.1. Produção de Fagos

- a) Transferiu-se 0,4 ml de uma cultura de *E. coli* C (ATCC 13706) com 24 horas de crescimento para 40 ml de TSB (Caldo Triptona de Soja) e incubou-se a 37 °C em banho- maria sob agitação por 3 horas;
- b) Adicionou-se então 5 ml de uma solução estoque de *Colifagos* permanecendo sob as mesmas condições;
- c) No dia seguinte, centrifugou-se todo o conteúdo a 3000 rpm por 30 minutos;
- d) Filtrou-se o sobrenadante em filtro de 0,45 µm por duas vezes, reservando-se o filtrado em geladeira para posterior titulação.

1.2. Titulação de Fagos

- a) A amostra a ser quantificada foi vigorosamente homogeneizada e, a partir dela, realizaram-se diluições sucessivas em frascos de 9 ml de água destilada estéril (foram efetuadas diluições até 10^{-20});
- b) Aqueceu-se o número de tubos com 5,5 ml de TSA modificado (Ágar Triptona de Soja + Nitrato de Estrôncio + Nitrato de Amônio), correspondente ao número de diluições efetuadas, até sua completa dissolução, mantendo-os a 45 °C;
- c) Adicionaram-se ao tubo de TSA modificado:
 - 1 ml de *E. coli* C hospedeira (24 horas de crescimento);
 - 1 ml da diluição do fago correspondente.
- d) Homogeneizou-se em aparelho Vortex e todo o conteúdo foi vertido em placas de Petri devidamente esterilizadas e identificadas;
- e) A placa foi homogeneizada por movimentos de “infinito”, deixando-as à temperatura ambiente até sua completa solidificação;

- f) Incubaram-se as placas já resfriadas em estufa a 37 °C por 24 horas;
- g) No dia seguinte, realizou-se a contagem das placas de lise, e multiplicando-se o resultado pelo inverso da diluição, obteve-se o título da amostra ($1,3 \times 10^{19}$).

1.3. Contaminação e Análise da Água de Estudo

- a) A partir do título obtido para a suspensão de fagos produzida, calcula-se o volume necessário para que a água de estudo possua uma concentração de 10^5 UFP/100ml (Unidade Formadora de Placa por 100 ml);
- b) Efetua-se as diluições necessárias em frascos de 9 ml de água destilada estéril (diluições até 10^{-9}) e em uma alíquota de aproximadamente 1 litro da água de estudo, foi agregado o volume, acima calculado, da última diluição (= 5 ml);
- c) A caixa contendo os 500 litros da água de estudo é vigorosamente homogeneizada e em seguida coleta-se uma amostra composta de 100 ml (10 alíquotas de 10 ml) que é reservada em geladeira até o momento da análise, descrita no tópico a seguir;
- d) Os efluentes dos cloradores sob avaliação são analisados a partir de amostras de 100 ml coletadas em horários pré-determinados.

1.4. Técnica de Análise de Colifagos em Água

- a) Homogeneizar por inversão a amostra a ser analisada (bruta e efluente dos cloradores);
- b) Aquecer quatro tubos com 5.5 ml de TSA modificado (Ágar Triptona de Soja + Nitrato de Estrôncio + Nitrato de Amônio), para cada amostra a ser analisada, até sua completa dissolução, mantendo-os a 45 °C;
- c) Adicionar a cada um dos quatro tubos de TSA modificado:
 - 1 ml de E. coli C hospedeira (24 horas de crescimento);
 - 5 ml da amostra (bruta ou efluente dos cloradores) o que corresponde a um volume de 20 ml analisado.

- d) Homogeneizar em aparelho Vortex e verter todo o conteúdo em placas de Petri devidamente esterilizadas e identificadas;
- e) A placa é homogeneizada por movimentos de “infinito”, deixando-as a temperatura ambiente até sua completa solidificação;
- f) Incubar as placas já resfriadas em estufa a 37 °C por 24 horas;
- g) No dia seguinte realizar a contagem das placas de lise. O resultado é então multiplicado pelo inverso da diluição realizada (se realizada), e através de uma regra de três simples, obteve-se o resultado em UFP/100ml.

2. ANÁLISE DE *Escherichia coli*

2.1 Contaminação e Análise da Água de Estudo

- a) Para a contaminação da água de estudo foi utilizada uma cepa de *E. coli* isolada de ambiente (água), para a qual foi determinada sua curva de crescimento, a fim de se relacionar Absorbância (520 nm) e UFC (Unidades Formadoras de Colônia);
- b) A cada contaminação, uma pequena alíquota da cepa mãe é transferida para um tubo de 15 ml de TSB (Caldo Triptona de Soja), que é mantido em estufa a 35 °C por aproximadamente 2 horas;
- c) No momento da contaminação da água de estudo, é medida a absorbância (520 nm) desta cultura e interpolando-se na curva de crescimento o resultado encontrado, obtendo-se o número de UFC presente;
- d) Calcula-se o volume de cultura necessário a contaminação da água de estudo, a fim de se obter uma faixa de 10^4 - 10^6 NMP/100ml;
- e) Efetua-se as diluições necessárias em frascos de 90 ml de água destilada estéril e em uma alíquota de aproximadamente 1 litro da água de estudo, é agregado o volume, acima calculado, da última diluição;
- f) A caixa contendo os 500 l da água de estudo é vigorosamente homogeneizada e em seguida coleta-se uma amostra composta de 100 ml (10 alíquotas de 10 ml) que é reservada em geladeira até o momento da análise, descrita no tópico a seguir;

- g) Os efluentes dos cloradores sob avaliação são analisados a partir de amostras de 100 ml coletadas em horários pré-determinados;
- h) A contaminação era realizada de 6 em 6 horas, para que se mantivesse um número relativamente constante de microrganismos na água de estudo, durante todo o período experimental.

2.2 Técnica de Análise de *E. coli* em Água (Técnica do Substrato Cromogênico – COLILERT/IDEXX)

- a) A partir da amostra coletada realiza-se as diluições necessárias em frascos de 90 ml de água destilada estéril;
- b) Agrega-se um sachê de COLILERT aos 100 ml da amostra (ou diluição correspondente) agitando-se o frasco até sua completa dissolução;
- c) Em seguida, despeja-se todo o conteúdo na cartela QUANT-TRAY 2000, e sela-se na seladora SEALER QUANT-TRAY/IDEXX;
- d) As cartelas são incubadas a 35 °C por 24-28 horas;
- e) A leitura é realizada sob luz ultravioleta, considerando-se positivos os poços fluorescentes; os resultados são então conferidos na tabela de NMP fornecida pelo fabricante.

3. ANÁLISE DE *Enterobacter sp.*

3.1 Contaminação e Análise da Água de Estudo

- a) Para a contaminação da água de estudo foi utilizada uma cepa de *Enterobacter* isolada de ambiente (água), para a qual é determinada sua curva de crescimento, a fim de se relacionar Absorbância (520 nm) e UFC (Unidades Formadoras de Colônia);
- b) A cada contaminação, uma pequena alíquota da cepa mãe é transferida para um tubo de 15 ml de TSB (Caldo Triptona de Soja), que é mantido em estufa a 35 °C por aproximadamente 2 horas;

- c) No momento da contaminação da água de estudo, é medida a absorbância (520 nm) desta cultura e interpolando-se na curva de crescimento o resultado encontrado, obtém-se o número de UFC presente;
- d) Calcula-se o volume de cultura necessário a contaminação da água de estudo, a fim de se obter uma faixa de 10^4 - 10^6 NMP/100 ml;
- e) Efetua-se as diluições necessárias em frascos de 90 ml de água destilada estéril e em uma alíquota de aproximadamente 1 litro da água de estudo, é agregado o volume, acima calculado, da última diluição;
- f) A caixa contendo os 500 l da água de estudo é vigorosamente homogeneizada e em seguida coleta-se uma amostra composta de 100 ml (10 alíquotas de 10 ml) que é reservada em geladeira até o momento da análise, descrita no tópico a seguir;
- g) Os efluentes dos cloradores sob avaliação são analisados a partir de amostras de 100 ml coletadas em horários pré-determinados;
- h) A contaminação era realizada de 6 em 6 horas, para que se mantivessem um número relativamente constante de microrganismos na água de estudo, durante todo o período experimental.

3.2 Técnica da Análise de *Enterobacter* em Água

- i. A partir da amostra coletada realiza-se as diluições necessárias em frascos de 90 ml de água destilada estéril;
- ii. Agrega-se um sachê de COLILERT aos 100 ml da amostra (ou diluição correspondente) agitando-se o frasco até sua completa dissolução;
- iii. Em seguida, despeja-se todo o conteúdo na cartela QUANT -TRAY 2000, e sela-se na seladora SEALER QUANT-TRAY/IDEXX;
- iv. As carteias são incubadas a 35 °C por 24-28 horas;
- v. A leitura é realizada considerando-se positivos os poços amarelos, e os resultados eram conferidos na tabela de NMP fornecida pelo fabricante.

4. DETERMINAÇÕES ANALÍTICAS

4.1 Cloro Livre (0 a 2 mg/l)

Método 8021

Para água, esgoto e água do mar

Método DPD³ (Envelope de Pó ou Ampolas AccuVac)

A Agência de Proteção Ambiental Americana - USEPA, aceita este método para constar em relatórios de análises de esgoto e de água potável⁴.

Utilizando envelopes de pó.

i) Entrar com o número do programado armazenado para travesseiros de pó de cloro livre e de cloro total (Cl_2). Pressione: 80 ENTER, o visor irá mostrar: Dial nm to 530.

Nota: o tubo de escoamento pode ser utilizado com apenas 25 ml de reagente.

ii) Gire o indicador de comprimento de onda até que o visor pequeno mostre: 530 nm. Quando o comprimento de onda correto estiver selecionado no visor, será mostrado imediatamente: Zero sample (amostra zero) e, então, mg/l Cl_2 .

iii) Insira a célula de elevação de 10 ml no compartimento de amostra.

iv) Encha o tubo de amostra com 10 ml de amostra (o branco). Coloque-o no fixador de tubo. Feche o quebra-luz.

Nota: As amostras devem ser analisadas imediatamente e não podem ser preservadas para análises posteriores.

v) Pressione: ZERO. O visor irá mostrar: Zeroing... e, então: 0,00 mg/L Cl_2 .

vi) Encha outro frasco com 10 ml de amostra.

vii) Acrescente o conteúdo de um envelope de pó de cloro livre DPD.

³ Adaptado do *Standard Methods for the Examination of water and wastewater*.

⁴ O procedimento é equivalente ao do Método 330.5 da USEPA para esgoto e ao Método Padrão 4500-C1 G para água potável.

Nota: Uma coloração rosa irá desenvolver-se se o cloro livre estiver presente.

Nota: A agitação pode dissipar bolhas de ar que se formem devido à presença de gases dissolvidos.

viii) Imediatamente (dentro de um minuto após o adicionamento do reagente) remova a tampa e coloque a amostra preparada em um fixador de frascos. Feche o quebra-luz.

Nota: Passe imediatamente ao passo 9.

ix) Pressione: READ. O visor irá mostrar: Reading... e, em seguida, o resultado do cloro em mg/l (Cl_2) irá aparecer no visor.

Nota: Caso a amostra se torne amarela, temporariamente, após a adição do reagente, ou apareça OVER-RANGE, dilua uma amostra fresca e repita o teste. Uma leve perda de cloro pode ocorrer durante a diluição. Multiplique o resultado por um fator de diluição adequado; veja Técnicas de Diluição de Amostras.

4.1.1 Amostragem e estocagem

As análises para verificação de cloro devem ser feitas logo após a coleta. Cloro livre é um agente forte de oxidação e é instável em águas naturais. Ele reage rapidamente com vários compostos inorgânicos e, mais lentamente, oxida compostos orgânicos. Alguns fatores, incluindo concentração dos reagentes, luz solar, pH, temperatura e salinidade influenciam na decomposição do cloro livre na água.

Evite recipientes plásticos já que estes podem ter uma grande demanda por cloro. Trate previamente os recipientes de vidro, para remover qualquer demanda de cloro, deixando-os de molho em uma solução diluída de cloreto de cal (1 ml de cloreto de cal comercial para um litro de água deionizada) por, no mínimo, uma hora. Enxágue completamente com água deionizada ou destilada. Se o recipiente de amostras são enxaguados completamente com água deionizada ou destilada, somente ocasionalmente será necessário o pré-tratamento.

Não use o mesmo recipiente de amostra para cloro livre e para cloro total. Se algum vestígio de iodeto do reagente do cloro total é transportado em uma determinação de cloro livre, haverá interferência de monoclороamina. Melhor que a utilização seja separada para os recipientes de amostras para determinações de cloro total e de cloro livre.

Um erro comum no teste de cloro é introduzido quando uma amostra representativa não é obtida. Se a amostragem for de água de torneira, deixe que a água escoe por, pelo menos 5 minutos, para assegurar a representatividade da amostra. Deixe o recipiente transbordar com a amostra várias vezes, então, tampe o recipiente de amostra de modo que não haja nenhuma folga de fechamento (ar) acima da amostra. Se a amostragem for com um tubo de amostra, enxágue o tubo várias vezes com a amostra, então, cuidadosamente encha até a marca de 10 ml. Analise imediatamente.

4.1.2 Precisão

Em um mesmo laboratório, utilizando uma solução padrão de 1,00 mg/l de cloro e 2 lotes representativos de reagentes com o DR 2010, um mesmo operador obteve desvios de padrão de $\pm 0,012$ mg/l de cloro.

Em um mesmo laboratório, utilizando uma solução padrão de 1,10 mg/l de cloro e 2 lotes representativos de ampolas AccuVac, com o DR 2010, um mesmo operador pode obter um desvio de padrão de $\pm 0,009$ mg/l de cloro.

4.1.3 Limite de detecção estimado (EDL)

O EDL para o programa 80 e para o programa 85 é 0,01 mg/l Cl_2 . O EDL é a concentração média mais baixa calculada na matriz de água deionizada que é diferente de zero com um nível de confiança de 99%.

4.1.4 Interferência

Amostras contendo mais do que 250 mg/l de alcalinidade ou 150 mg/l de acidez como CaCO_3 , pode não desenvolver uma quantidade completa de cor ou a cor pode instantaneamente desvanecer. Neutralize estas amostras para um pH de 6 a 7 com um 1 N de ácido sulfúrico ou 1 N de hidróxido de sódio. Determine a quantidade

necessária em uma amostra separada de 25 ml e, então, adicione a mesma quantidade para a amostra a ser testada.

Amostras contendo monocloroamina causarão uma queda gradual para a leitura de cloro mais elevadas. Quando se lê em até um minuto após a adição do reagente, 3 mg/l de monocloroamina causarão um aumento de menos que 0,1 mg/l de cloro livre.

Bromo, iodo, ozônio, manganês oxidado e cromo também podem reagir e se mostrarem como se fossem cloro. Para compensar estes efeitos da oxidação do manganês ou do cromo, ajuste o pH de 6 a 7 como descrito acima e, então, acrescente três gotas de iodeto de potássio, 3 g/l para 25 ml e misture. Analise 10 ml desta amostra como descrito acima (se o cromo estiver presente, conceda exatamente o mesmo período de reação com o DPD para ambas as análises). Subtraia o resultado deste teste das análises originais para obter o resultado de cloro correto.

4.2 Cloro Livre (0 a 5 mg/l)

Método 10069

Para água e esgoto

Método DPD⁵

i) Entre com o número do programa armazenado para cloro livre, método HR. Pressione: 88 ENTER, o visor irá mostrar: Dial nm to 530.

Nota: a célula Pour-Thru pode ser utilizada neste procedimento.

ii) Gire o indicador de comprimento de onda até que o pequeno visor mostre: 530 nm. Quando o comprimento de onda correto é indicado no visor, rapidamente aparecerá: Zero Sample, então: mg/l Cl₂ HR.

iii) Encha dois tubos de amostra limpos, com amostra, até a marca de 10 ml cada.

Nota: para um trabalho mais exato, utilize dois cilindros graduados de agitação, limpos de 25 ml.

⁵ Adaptado do *Standard Methods for the Examination of water and wastewater*.

Nota: as amostras devem ser analisadas imediatamente.

Nota: Se utilizados os tubos de amostra, catálogo nº 26294, use as rolhas, catálogo nº 14480.

iv) Adicione o conteúdo de um envelope de cloro livre DPD em pó, em um tubo de amostras de 25 ml. Tampe o tubo e o inverta várias vezes para dissolver o pó. Remova a rolha do tubo de amostra.

Nota: uma cor magenta irá se desenvolver, se o cloro estiver presente.

v) No prazo de um minuto da adição do reagente, adicione água deionizada para cada tubo, até a marca de 25 ml. Tampe e inverta cada tubo duas vezes para misturar.

vi) Coloque a amostra diluída (sem reagente) dentro do compartimento para tubos. Feche a proteção de luz.

Nota: coloque o tubo de maneira que as graduações estejam faceando para frente.

Nota: remova as rolhas do tubo para fechar completamente a proteção de luz.

vii) Pressione: ZERO. O visor mostrará: Zeroing..., então: 0.00mg/l Cl_2 HR.

viii) Coloque o preparado, amostra que tenha reagido dentro do compartimento para tubos. Feche a proteção de luz.

ix) Pressione: READ O visor mostrará: Reading..., então o resultado, em mg/l de Cl_2 será mostrado.

4.2.1 Amostragem e estocagem

Analise as amostras para cloro, imediatamente após a coleta. O cloro é um forte agente oxidante e reage rapidamente com vários compostos. Muitos fatores, como luz solar, pH, temperatura e composição da amostra irão influenciar na decomposição do cloro livre na água.

Evite recipientes plásticos já que estes podem ter uma grande demanda por cloro. Trate previamente os recipientes de vidro, para remover qualquer demanda de cloro, deixando-os de molho em uma solução diluída de cloreto de cal (1 ml de cloreto de cal comercial para um litro de água deionizada) por, no mínimo, uma hora. Enxágue completamente com água deionizada ou destilada. Se o recipiente de amostras são enxaguados completamente com água deionizada ou destilada após o uso, somente ocasionalmente será necessário o pré-tratamento.

Não use o mesmo recipiente de amostra para cloro livre e para cloro total. Se algum vestígio de iodeto do reagente do cloro total é transportado em uma determinação de cloro livre, haverá interferência de monoclороamina. Melhor que a utilização seja separada para os recipientes de amostras para determinações de cloro total e de cloro livre.

Um erro comum no teste de cloro é introduzido quando uma amostra representativa não é obtida. Se a amostragem for de água de torneira, deixe que a água escoe por, pelo menos 5 minutos, para assegurar a representatividade da amostra. Deixe o recipiente transbordar com a amostra várias vezes, então, tampe o recipiente de amostra de modo que não haja nenhuma folga de fechamento (ar) acima da amostra. Se a amostragem for com um tubo de amostra, enxágue o tubo várias vezes com a amostra, então, cuidadosamente encha até a marca de 10 ml. Analise imediatamente.

4.2.2 Desempenho do método

Precisão		
mg/l Cl ₂	Limite de confiança de 99%	
0,10	±0,20 mg/l	
2,50	±0,20 mg/l	
3,40	±0,20 mg/l	

Sensibilidade		
Porção da curva	ΔAbs	ΔConcentração
até 0,10 mg/l Cl ₂	0,01	0,040 mg/l
até 2,50 mg/l Cl ₂	0,01	0,046 mg/l
até 3,40 mg/l Cl ₂	0,01	0,049 mg/l

4.2.3 Interferência

Substâncias Interferentes	Nível de interferência e tratamento																														
Bromo, Br ₂	Interfere em todos os níveis.																														
Dióxido de cloro, ClO ₂	Interfere em todos os níveis.																														
Cloraminas orgânicas	Pode interferir.																														
Iodo, I ₂	Interfere em todos os níveis.																														
Manganês oxidado (Mn ⁴⁺ , Mn ⁷⁺) ou Cromo Oxidado (Cr ⁶⁺)	Adicione 3 gotas de iodeto de potássio(30g/l) para uma amostra de 10ml. Misture e espere 1 minuto. Adicione 3 gotas de arsenito de sódio(5g/l) e misture. Analise a amostra tratada, como descrito no procedimento. Subtraia o resultado deste teste da análise original para obter a correção da concentração de cloro.																														
Monocloramina	Para cloro livre convencional (além do “Breakpoint”) as concentrações típicas de monocloramina são muito baixas. Se monocloramina está presente na amostra, a interferência dela no teste de cloro livre depende da temperatura da amostra, concentração relativa ou monocloramina para cloro livre, e o tempo requerido para executar a análise. Níveis típicos de interferência de monocloramina sobre o teste de cloro livre, com um tempo de teste de 1 minuto são listados abaixo (interferência em mg/l Cl₂). <table><tr><th colspan="5">Temperatura da amostra °C</th></tr><tr><th>nível NH₂Cl</th><th>5(40)</th><th>10(50)</th><th>20(68)</th><th>30(83)</th></tr><tr><td>1,2 mg/l</td><td>0,15</td><td>0,19</td><td>0,30</td><td>0,29</td></tr><tr><td>2,5 mg/l</td><td>0,35</td><td>0,38</td><td>0,55</td><td>0,61</td></tr><tr><td>3,5 mg/l</td><td>0,38</td><td>0,56</td><td>0,69</td><td>0,73</td></tr><tr><td>5,0 mg/l</td><td>0,68</td><td>0,75</td><td>0,93</td><td>1,05</td></tr></table>	Temperatura da amostra °C					nível NH ₂ Cl	5(40)	10(50)	20(68)	30(83)	1,2 mg/l	0,15	0,19	0,30	0,29	2,5 mg/l	0,35	0,38	0,55	0,61	3,5 mg/l	0,38	0,56	0,69	0,73	5,0 mg/l	0,68	0,75	0,93	1,05
Temperatura da amostra °C																															
nível NH ₂ Cl	5(40)	10(50)	20(68)	30(83)																											
1,2 mg/l	0,15	0,19	0,30	0,29																											
2,5 mg/l	0,35	0,38	0,55	0,61																											
3,5 mg/l	0,38	0,56	0,69	0,73																											
5,0 mg/l	0,68	0,75	0,93	1,05																											
Ozônio	Interfere em todos os níveis.																														
Peróxidos	Pode interferir.																														
Amostra com pH extremo ou amostras altamente compensadoras	Ajuste o pH 6-7 utilizando ácido ou base.																														

4.2.4 Resumo do método

A faixa de análise utilizando o método DPD para o cloro livre pode ser estendida pela adição de mais indicador, na proporção do volume de amostra. Deste modo, uma maior suficiência de envelope em pó de reagente cloro livre, DPD é adicionado para uma porção de amostra de 10 ml. Após o desenvolvimento de cor, o volume da amostra é ajustado para 25 ml. utilizando- se água deionizada. Isto permite que o desenvolvimento da cor seja feito diretamente em um tubo de amostra de 1 polegada, eliminando a necessidade de transferir para um tubo de comprimento menor.

A diluição da amostra que tenha reagido, evita perda de potencial do cloro, quando a amostra é diluída antes do teste. Alguma perda de exatidão e precisão irá ocorrer da diluição. O procedimento DPD para cloro livre é recomendado para concentrações menores que 2 mg/l.

4.3 Cloro Total (0 a 5 mg/l)

Método 10070

Para água e esgoto

Método DPD⁶

i) Entre com o número do programa armazenado para cloro total, método HR. Pressione: 88 ENTER, o visor irá mostrar: Dial nm to 530.

Nota: a célula Pour-Thru pode ser utilizada neste procedimento.

ii) Gire o indicador de comprimento de onda até que o pequeno visor mostre: 530 nm. Quando o comprimento de onda correto é indicado no visor, rapidamente aparecerá: Zero Sample, então: mg/l Cl₂ HR.

iii) Encha dois tubos de amostra limpos, com amostra, até a marca de 10 ml cada.

Nota: para um trabalho mais exato, utilize dois cilindros graduados de agitação, limpos de 25 ml.

Nota: as amostras devem ser analisadas imediatamente.

Nota: Se utilizados os tubos de amostra, catálogo n° 26294, use as rolhas, catálogo n° 14480.

iv) Adicione o conteúdo de um envelope de cloro livre DPD em pó, em um tubo de amostras de 25 ml. Tampe o tubo e o inverta várias vezes para dissolver o pó. Remova a rolha do tubo de amostra.

Nota: uma cor magenta irá se desenvolver, se o cloro estiver presente.

⁶ Adaptado do *Standard Methods for the Examination of water and wastewater*.

v) Pressione SHIFT TIMER. Um período de reação de dois minutos começará.

vi) Quando o cronômetro bipar, o visor mostrará: mg/l Cl₂ HR Num prazo de três minutos depois que o cronômetro bipar, adicione água deionizada até a marca de 25ml de cada tubo. Tampe e inverta cada tubo duas vezes para misturar.

vii) Coloque a amostra diluída (sem reagente) dentro do compartimento para tubos. Feche a proteção de luz.

Nota: coloque o tubo de maneira que as graduações estejam faceando para frente.

Nota: remova as rolhas do tubo para fechar completamente a proteção de luz.

viii) Pressione: ZERO. O visor mostrará: Zeroing..., então: 0.00mg/l Cl₂ HR.

ix) Coloque o preparado, amostra que tenha reagido dentro do compartimento para tubos. Feche a proteção de luz.

x) Pressione: READ O visor mostrará: Reading..., então o resultado, em mg/l de Cl₂ será mostrado.

4.3.1 Amostragem e estocagem

Analise as amostras para cloro, imediatamente após a coleta. O cloro é um forte agente oxidante e reage rapidamente com vários compostos. Muitos fatores, como luz solar, pH, temperatura e composição da amostra irão influenciar na decomposição do cloro livre na água.

Evite recipientes plásticos já que estes podem ter uma grande demanda por cloro. Trate previamente os recipientes de vidro, para remover qualquer demanda de cloro, deixando-os de molho em uma solução diluída de cloreto de cal (1 ml de cloreto de cal comercial para um litro de água deionizada) por, no mínimo, uma hora. Enxágue completamente com água deionizada ou destilada. Se o recipiente de amostras são enxaguados completamente com água deionizada ou destilada após o uso, somente ocasionalmente será necessário o pré-tratamento.

Não use o mesmo recipiente de amostra para cloro livre e para cloro total. Se algum vestígio de iodeto do reagente do cloro total é transportado em uma determinação de cloro livre, haverá interferência de monoclóroamina. Melhor que a utilização seja separada para os recipientes de amostras para determinações de cloro total e de cloro livre.

Um erro comum no teste de cloro é introduzido quando uma amostra representativa não é obtida. Se a amostragem for de água de torneira, deixe que a água escoe por, pelo menos 5 minutos, para assegurar a representatividade da amostra. Deixe o recipiente transbordar com a amostra várias vezes, então, tampe o recipiente de amostra de modo que não haja nenhuma folga de fechamento (ar) acima da amostra. Se a amostragem for com um tubo de amostra, enxágue o tubo várias vezes com a amostra, então, cuidadosamente encha até a marca de 10 ml. Analise imediatamente.

4.3.2 Desempenho do método

Precisão	
mg/l Cl ₂	Limite de confiança de 99%
0,10	±0,20 mg/l
2,50	±0,20 mg/l
3,40	±0,20 mg/l

Sensibilidade		
Porção da curva	ΔAbs	ΔConcentração
até 0,10 mg/l Cl ₂	0,01	0,040 mg/l
até 2,50 mg/l Cl ₂	0,01	0,046 mg/l
até 3,40 mg/l Cl ₂	0,01	0,049 mg/l

4.3.2 Interferência

Substâncias Interferentes	Nível de interferência e tratamento
Bromo, Br ₂	Interfere em todos os níveis.
Dióxido de cloro, ClO ₂	Interfere em todos os níveis.
Cloraminas orgânicas	Pode interferir.
Iodo, I ₂	Interfere em todos os níveis.
Mangânês oxidado (Mn ⁴⁺ , Mn ⁷⁺) ou Cromo Oxidado (Cr ⁶⁺)	Adicione 3 gotas de iodeto de potássio(30g/l) para uma amostra de 10ml. Misture e espere 1 minuto. Adicione 3 gotas de arsenito de sódio(5g/l) e misture. Analise a amostra tratada, como descrito no procedimento. Subtraia o resultado deste teste da análise original para obter a correção da concentração de cloro.
Ozônio	Interfere em todos os níveis.
Peróxidos	Pode interferir.
Amostra com pH extremo ou amostras altamente compensadoras	Ajuste o pH 6-7 utilizando ácido ou base.

4.3.3 Resumo do método

A faixa de análise utilizando o método DPD para o cloro total pode ser estendida pela adição de mais indicador, na proporção do volume de amostra. Deste modo, uma maior suficiência de envelope em pó de reagente cloro livre, DPD é adicionado para uma porção de amostra de 10 ml. Após o desenvolvimento de cor, o volume da amostra é ajustado para 25 ml. utilizando- se água deionizada. Isto permite que o desenvolvimento da cor seja feito diretamente em um tubo de amostra de 1 polegada, eliminando a necessidade de transferir para um tubo de comprimento menor.

A diluição da amostra que tenha reagido, evita perda de potencial do cloro, quando a amostra é diluída antes do teste. Alguma perda de exatidão e precisão irá ocorrer da diluição.

O cloro combinado é a diferença entre os resultados de cloro total e livre.