

Programa de Pós-Graduação em **Engenharia Civil e Ambiental**

Universidade Federal de Campina Grande
Centro de Tecnologia e Recursos Naturais
Departamento de Engenharia Civil

**INDICADORES DE VIGILÂNCIA DA QUALIDADE
DA ÁGUA DE ABASTECIMENTO DA
CIDADE DE AREIA (PB)**

MARIA CRISTINA SANTOS PEREIRA DE ARAÚJO

Campina Grande
Data: MARÇO / 2010



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
CAMPUS I – CAMPINA GRANDE**

**INDICADORES DE VIGILÂNCIA DA QUALIDADE DA ÁGUA
DE ABASTECIMENTO DA CIDADE DE AREIA (PB)**

MARIA CRISTINA SANTOS PEREIRA DE ARAÚJO

**CAMPINA GRANDE – PB
MARÇO – 2010**

MARIA CRISTINA SANTOS PEREIRA DE ARAÚJO

**INDICADORES DE VIGILÂNCIA DA QUALIDADE DA ÁGUA
DE ABASTECIMENTO DA CIDADE DE AREIA (PB)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós –
Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da
Universidade Federal de Campina Grande –
UFCG, em cumprimento às exigências para
obtenção do grau de Mestre.

Área de concentração: Recursos Hídricos e Sanitária

Orientadores: Prof^ª. Dr^ª. Mônica de Amorim Coura
Prof^ª. Dr^ª. Celeide Maria Belmont Sabino Meira

CAMPINA GRANDE - PB
MARÇO – 2010



FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCCG

A663i

2010 Araújo, Maria Cristina Santos Pereira de.

Indicadores de vigilância da qualidade da água de abastecimento da cidade de Areia (PB) / Maria Cristina Santos Pereira de Araújo. — Campina Grande, 2010.

110 f. : il. col.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais.

Referências.

Orientadoras: Prof^ª. Dr^ª. Mônica de Amorim Coura, Prof^ª. Dr^ª. Celeide Maria Belmont Sabino Meira.

1. Abastecimento de Água. 2. Vigilância da Qualidade de Água. 3. Indicadores Sentinelas. 4. Cloro Residual. 5. Turbidez. 6. Coliformes Totais. 7. *Escherichia coli*. I. Título.

CDU – 628.1(043)

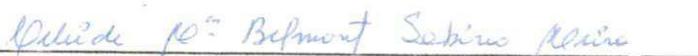
MARIA CRISTINA SANTOS PEREIRA DE ARAUJO

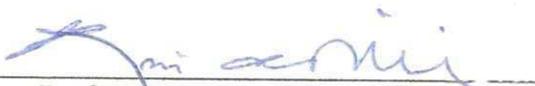
INDICADORES DE VIGILÂNCIA DA QUALIDADE DA ÁGUA DE ABASTECIMENTO DA CIDADE DE AREIA (PB)

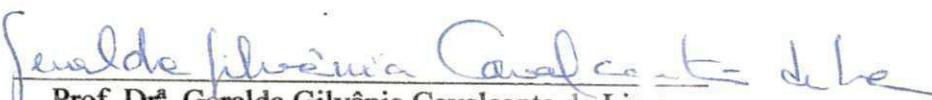
Aprovada em 30 de Março de 2010

COMISSÃO EXAMINADORA


Prof.^a Dr.^a Mônica de Amorim Coura
Orientadora


Prof.^a Dr.^a Celeide Maria Belmont Sabino Meira
Orientadora


Prof. Dr. Rui de Oliveira
Examinador Interno


Prof. Dr.^a Geralda Gilvânia Cavalcante de Lira
Examinadora Externa

Dedico ao meu pai, João Alves Pereira Neto, e à minha mãe, Luzinete dos Santos Pereira, por terem dado todo o suporte e apoio na minha vida, estando sempre do meu lado em todas as minhas decisões.

Ao meu esposo, Tibério José Silva de Araújo, pelo amor, compreensão e paciência nos momentos de ausência.

AGRADECIMENTOS

A Deus, primeiramente, pela minha existência e proteção, dando-me sempre saúde e força para enfrentar as adversidades surgidas em meu caminho.

Ao meu irmão José Fernando dos Santos Pereira, pelo carinho, apoio e incentivo.

À minha sobrinha Maria Fernanda Elias Pereira por alegrar minha vida.

Aos meus cunhados e cunhadas pelo apoio, incentivo e confiança.

À minha sogra Maria das Mercês Silva de Araújo, por acreditar no meu potencial.

A professora Dr^a. Mônica de Amorim Coura pela série orientação dispensada, incentivo, amizade e compreensão.

Aos professores Dr. Rui de Oliveira e Dr^a. Celeide Maria Belmont Sabino Meira, pela dedicação e conselhos dispensados.

Aos meus amigos de pesquisa Emanuel, Thassio, Alane e todos os outros que compõem o grupo de pesquisa, pelo compromisso e apoio na realização das análises, sendo fundamentais para conclusão desse trabalho.

À Universidade Federal da Paraíba na pessoa do Prof. Dr. Adailson Pereira de Souza por disponibilizar os meios para a realização da pesquisa.

Aos amigos de Curso de Mestrado de Engenharia Civil, pela convivência e estudos realizados ao longo do curso.

À Companhia de Água e Esgoto da Paraíba (CAGEPA), por disponibilizar dados referentes ao sistema de abastecimento de água da cidade de Areia.

RESUMO

A água utilizada para consumo humano deve passar por um processo de tratamento para torná-la potável assegurando que os diversos contaminantes (químicos ou biológicos) não ultrapassem o valor máximo permitido estabelecido pela legislação vigente. No entanto, ao longo da rede de distribuição a água pode ser recontaminada caso existam fendas e vazamentos nas tubulações. Diante disso, o presente trabalho tem por objetivo monitorar a qualidade da água de abastecimento distribuída na cidade de Areia (6°58'30,97" Sul e 35°41'50" Oeste), estado da Paraíba, nordeste do Brasil, com base em indicadores sentinelas e microbiológicos, obtendo assim informações que servirão de subsídio na formulação de um plano municipal de amostragem para a vigilância da qualidade da água. A pesquisa foi realizada no período de março a dezembro de 2009. Foram analisados os indicadores físico-químicos (pH, cloro residual, turbidez e temperatura) e microbiológicos (coliformes totais, *E. coli* e bactérias heterotróficas), em amostras coletadas em três horários ao longo do dia, em cinco pontos de coleta. Analisando os resultados dos indicadores monitorados foi observado que na maioria dos pontos ocorreu grande número de violações em relação ao padrão de potabilidade estabelecido na Portaria do Ministério da Saúde nº 518/2004, principalmente para cloro residual livre, turbidez e pH. No último horário de coleta a população recebe água mais turva e com menor concentração de cloro livre. Com base nos resultados das análises bacteriológicas da água, foi constatado que a monitoração dos indicadores sentinelas (cloro residual livre e turbidez) fornece um resultado confiável para garantir a potabilidade da água de abastecimento. Logo, em cidades de pequeno porte, onde os recursos (humanos e financeiros) são limitados para efetuar a vigilância da qualidade da água, esses dois indicadores podem assumir grande valor na monitoração do sistema de abastecimento, pois são de fácil execução e relativamente baratos quando comparados às análises microbiológicas.

Palavras – chave: Abastecimento de água. Vigilância da qualidade da água. Indicadores sentinelas. Cloro residual livre. Turbidez. Coliformes totais. *Escherichia coli*.

ABSTRACT

Water used for human consumption must undergo a treatment process to make it potable by ensuring the attendance of legal standards. Disinfection is a fundamental unit operation commonly carried out at the water treatment plant in order to provide water free from pathogenic agents. However water can be contaminated as water flows throughout water network due to the existence of cracks and leaks in the pipes. The main objective of this work was to monitor the quality of drinking water distributed in the city of Areia (6°58'30,97"S and 35°41'50" W), Paraíba state, northeast Brazil, on the basis of both sentinel and microbiological indicators intending to get useful information for the formulation of a municipal plan of sampling for the surveillance of water quality. Monitoring, conducted from March to December 2009, was based on the determination of physicochemical (pH, residual chlorine, turbidity and temperature) and microbiological (total coliforms, *Escherichia coli* and heterotrophic bacteria) indicators in grab samples collected, three times a day (7 and 11 a.m. and 5 p.m.), in five sampling points throughout the water network. Results showed the occurrence of a great number of violations of standards established in the Brazilian Ministry of Health Ordinance 518/2004, mainly related with free residual chlorine, turbidity and pH. In the last collection time of the day (5 p.m.) population received water more turbid, with a lesser concentration of free chlorine. Results of bacteriological indicators complied with standards as a result of the very high residual concentrations of hypochlorous acid caused by superchlorination at low levels of pH. Monitoring of sentinel indicators (free residual chlorine and turbidity) proved to be a reliable way to survey water quality and in small towns where resources (human and financial) are limited they can play an important role in monitoring the water supply system because they are easy to perform and relatively inexpensive compared with microbiological tests.

Keywords: Water supply. Monitoring of water quality. Sentinel indicators. Free residual chlorine. Turbidity. Total coliforms. *Escherichia coli*.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 3.1	Unidades componentes de um sistema de abastecimento de água.....	19
Figura 3.2	Técnicas mais usuais de tratamento de água.....	23
Figura 3.3	Proporção do volume da água tratada distribuída por dia, por tipo de tratamento utilizado, segundo as Grandes Regiões.....	23
Figura 3.4	Proporção do volume diário de água tratada e distribuída, por tipo de tratamento, segundo os estratos populacionais dos municípios.....	24
Figura 3.5	Esquema em corte de uma ETA convencional ou de ciclo completo.....	25
Figura 3.6	Efeito do pH na distribuição do ácido hipocloroso e do íon hipoclorito na água.....	38
Figura 4.1	Localização geográfica da cidade de Areia – PB.....	43
Figura 4.2	Reservatório semi – enterrado da ETA – Rio do Canto.....	44
Figura 4.3	Reservatório de compensação do sistema de abastecimento de água.....	44
Figura 4.4	Reservatório enterrado da ETA – Mazagão.....	45
Figura 4.5	Sistema de distribuição de água da cidade de Areia – PB.....	46
Figura 5.1	Mapa da cidade de Areia (IBGE) e localização dos pontos de coleta.....	50
Figura 6.1	Gráficos BOX PLOT de distribuição das concentrações de cloro residual livre, medidas nos três horários nos pontos de coleta.....	59
Figura 6.2	Gráficos BOX PLOT de distribuição das concentrações de monocloramina, medidas nos três horários nos pontos de coleta.....	60
Figura 6.3	Gráficos BOX PLOT de distribuição das concentrações de dicloramina, medidas nos três horários nos pontos de coleta.....	61
Figura 6.4	Gráficos BOX PLOT de distribuição das concentrações de tricloramina, medidas nos três horários nos pontos de coleta.....	62
Figura 6.5	Distribuição percentual das espécies de cloro residual nos pontos de coleta	63
Figura 6.6	Frequências de medidas de cloro residual livre, em cada horário nos pontos de coleta P1 e P2.....	64
Figura 6.7	Frequências de medidas de cloro residual livre, em cada horário nos pontos de coleta P3, P4 e P5.....	65
Figura 6.8	Variação temporal do CRL, por horário, nos pontos de coleta P1, P2, P3 e P4.....	66
Figura 6.9	Variação temporal do CRL, por horário, no ponto de coleta P5.....	67

Figura 6.10	Variação temporal de monocloramina nos pontos de coleta.....	68
Figura 6.11	Variação temporal de dicloramina nos pontos de coleta.....	69
Figura 6.12	Variação temporal de tricloramina nos pontos de coleta.....	70
Figura 6.13	Gráficos BOX PLOT de distribuição das medidas de turbidez nos pontos de coleta.....	72
Figura 6.14	Frequência de medidas de turbidez, nos pontos de coleta, em desacordo com o valor máximo (5 UT) recomendado na Portaria (MS) 518/2004.....	73
Figura 6.15	Variação temporal da turbidez nos pontos de coleta de coleta.....	74
Figura 6.16	Gráficos BOX PLOT de distribuição de valores de pH nos cinco pontos de coleta.....	76
Figura 6.17	Frequência de medidas de pH abaixo do limite mínimo recomendado na Portaria (MS) 518/2004, para os pontos de coleta.....	77
Figura 6.18	Variação temporal do pH nos pontos de coleta.....	78
Figura 6.19	Presença e ausência de Coliformes Totais e <i>E. coli</i> nas amostras de água do sistema de distribuição de água de Areia (PB), no período de março a dezembro de 2009.....	80
Figura 6.20	Médias e intervalos de comparação de 95% (método GT-2) para as variáveis turbidez e temperatura analisadas em três horários no ponto de coleta P1.....	85
Figura 6.21	Médias e intervalos de comparação de 95% (método GT-2) para as variáveis cloro residual livre, pH e temperatura analisadas em três horários no ponto de coleta P2.....	86
Figura 6.22	Médias e intervalos de comparação de 95% (método GT-2) para a temperatura determinada em três horários no ponto de coleta P3.....	86
Figura 6.23	Médias e intervalos de comparação de 95% (método GT-2) para as variáveis cloro residual livre, monocloramina, tricloramina, turbidez e temperatura determinadas em três horários no ponto de coleta P4.....	87
Figura 6.24	Médias e intervalos de comparação de 95% (método GT-2) para as variáveis cloro residual livre, monocloramina, pH, temperatura e turbidez determinadas em três horários no ponto de coleta P5.....	88
Figura 6.25	Médias e intervalos de comparação de 95% (método GT-2) para as variáveis cloro residual livre, monocloramina, tricloramina, pH e turbidez determinadas na primeira e na segunda subamostra.....	91

Figura 6.26 Médias e intervalos de comparação de 95% (método GT-2) para as variáveis cloro residual livre, monocloramina e turbidez determinadas na terceira e na quarta subamostra.....

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1	Total de domicílios abastecidos e respectivas distribuições percentuais, segundo os estratos populacionais dos municípios.....	20
Tabela 3.2	Histórico da implantação da vigilância da qualidade da água para consumo humano.....	32
Tabela 3.3	Comparativo das portarias de Potabilidade de Água para Consumo Humano de 1977 a 2000.....	35
Tabela 3.4	Indicadores de qualidade da água apresentados na Portaria nº 518/2004.....	36
Tabela 4.1	Dimensões e tipo de material utilizado na rede de distribuição de água da cidade de Areia – PB.....	47
Tabela 4.2	Características do conjunto elevatório instalado nas estações elevatórias de água bruta da ETA – Mazagão.....	48
Tabela 4.3	Características do conjunto elevatório instalado nas estações elevatórias de água bruta da ETA – Rio do Canto.....	48
Tabela 6.1	Quantidade de análises realizadas nos três horários em cada ponto de coleta....	56
Tabela 6.2	Freqüência (F) de amostras analisadas em cada ponto de coleta, que atendem ou não ao padrão de potabilidade estabelecido pela Portaria do Ministério da Saúde nº 518/2004.....	57
Tabela 6.3	Concentração média e desvio padrão das espécies de cloro residual, nos diferentes horários, em cada ponto de coleta.....	58
Tabela 6.4	Concentração média e desvio padrão da turbidez nos pontos de coleta, em diferentes horários.....	71
Tabela 6.5	Concentração média e desvio padrão do pH, nos diferentes horários, em cada ponto de coleta.....	75
Tabela 6.6	Temperatura mínima, média e máxima registradas nos cinco pontos de coleta.....	79
Tabela 6.7	Análise de variância das médias das variáveis em função do horário para o ponto P1.....	82
Tabela 6.8	Análise de variância das médias das variáveis em função do horário para o ponto P2.....	82
Tabela 6.9	Análise de variância das médias das variáveis em função do horário para o ponto P3.....	83

Tabela 6.10	Análise de variância das médias das variáveis em função do horário para o ponto P4.....	83
Tabela 6.11	Análise de variância das médias das variáveis em função do horário para o ponto P5.....	84
Tabela 6.12	Análise de variância das variáveis analisadas em função dos pontos de coleta para a primeira e a segunda subamostra.....	90
Tabela 6.13	Análise de variância das variáveis analisadas em função dos pontos de coleta para a terceira e a quarta subamostra.....	92

SUMÁRIO

1.0	INTRODUÇÃO.....	15
2.0	OBJETIVOS.....	17
2.1	Objetivo geral.....	17
2.2	Objetivos específicos.....	17
3.0	REVISÃO DE LITERATURA.....	18
3.1	Sistemas de abastecimento de água.....	18
3.2	Dificuldades da operação e manutenção dos sistemas de abastecimento de cidades de pequeno porte.....	21
3.3	Configuração ordinária das estações de tratamento de água de cidades de pequeno porte.....	22
3.4	Estações de Tratamento Convencionais.....	24
3.4.1	ETAPAS DO PROCESSO DE TRATAMENTO CONVENCIONAL.....	25
3.5	Evolução dos processos de tratamento de água de cidades de pequeno porte.....	30
3.6	Controle e Vigilância da qualidade da água de abastecimento.....	31
3.7	Padrões de Potabilidade.....	32
3.8	Evolução dos padrões brasileiros.....	33
3.9	Indicadores de qualidade da água.....	33
3.9.1	Indicadores Sentinelas.....	37
3.9.2	Potencial Hidrogeniônico – pH.....	39
3.9.3	Cloro Residual Combinado.....	40
3.9.4	Coliformes totais e <i>Escherichia coli</i>	40
3.9.5	Bactérias Heterotróficas.....	41
4.0	SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DA CIDADE DE AREIA – PB.	43
5.0	MATERIAIS E MÉTODOS.....	49
5.1	Área de Estudo e Pontos de Coleta.....	49
5.2	Metodologia de Amostragem.....	50
5.3	Indicadores Analisados.....	51
5.4	Métodos Analíticos.....	52
5.4.1	Potencial hidrogeniônico (pH).....	52

5.4.2	Turbidez.....	52
5.4.3	Temperatura.....	52
5.4.4	Cloro residual (Livre - CRL e Combinado - CRC).....	52
5.4.5	Indicadores microbiológicos.....	53
5.5	Análise Estatística.....	54
6.0	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	56
6.1	Cloro residual.....	57
6.2	Turbidez.....	70
6.3	Potencial Hidrogeniônico (pH)	75
6.4	Temperatura.....	79
6.5	Coliformes Totais, <i>Escherichia coli</i> e Bactérias Heterotróficas.....	80
6.6	Análise de variância.....	81
7.0	DISCUSSÃO.....	94
7.1	A situação da qualidade da água de abastecimento de Areia.....	94
7.2	Qualidade da água <i>versus</i> operação e manutenção do sistema de abastecimento.....	96
7.3	Plano de amostragem da vigilância da qualidade da água.....	97
8.0	CONCLUSÃO.....	99
9.0	RECOMENDAÇÕES.....	101
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	102
	ANEXO.....	108

1.0 INTRODUÇÃO

A água utilizada para consumo humano deve passar por um processo de tratamento para torná-la potável assegurando que os diversos contaminantes (químicos ou biológicos) não ultrapassem o valor máximo permitido estabelecido pela legislação vigente. O consumo de água contaminada põe em risco a saúde da população, visto que várias doenças estão associadas à água, como por exemplo, febre tifóide, hepatite e cólera. Aproximadamente doze milhões de pessoas morrem anualmente por problemas relacionados com a qualidade da água (MERTEN e MINELLA, 2002).

O tratamento da água é realizado por empresas especializadas e autorizadas para realização desse serviço, tornando-as responsáveis pela distribuição de um produto de qualidade e que atenda aos padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria Nº 518/2004 do Ministério da Saúde. A referida norma determina que essas empresas efetuem o controle da qualidade da água, verificando sua potabilidade e assegurando a manutenção desta condição.

A portaria mencionada anteriormente estabelece que o setor saúde seja responsável pelas ações de vigilância da qualidade da água, verificando se a mesma atende ou não aos padrões de potabilidade e avaliando os possíveis riscos para a saúde humana. O termo vigilância pressupõe a avaliação freqüente e continuada de aspectos diversos, objetivando a identificação de riscos potenciais à saúde humana, com vistas a possibilitar formas de intervenção ou controle, assumindo, assim, caráter rotineiro e preventivo (CARMO et al, 2008). Tanto o controle quanto a vigilância da qualidade da água são instrumentos essenciais para a garantia da proteção à saúde da população (BRASIL, 2006b).

Para implantar os programas de vigilância da qualidade da água, é necessária a elaboração de planos de amostragem baseados na monitoração de indicadores físicos, químicos e microbiológicos avaliados constantemente; e, ao sinal de alguma mudança nas propriedades e características da água de abastecimento, podem ser tomadas medidas de intervenção (preventiva ou corretiva).

A monitoração dos indicadores microbiológicos, sempre que possível devem ser incluídos nos planos de amostragem, devido à íntima relação entre os indicadores de contaminação fecal e organismos patogênicos responsáveis pela transmissão de várias doenças. No entanto, sua análise aumentaria os custos de implantação do plano de amostragem, e na maioria das cidades deveria ser construído um laboratório para analisá-los.

A Diretriz Nacional do Plano de Amostragem da Vigilância em Saúde Ambiental relacionada à qualidade da água para consumo humano recomenda que todos os municípios, independente de seu porte, devem implantar um plano de amostragem baseado inicialmente na monitoração dos indicadores sentinelas (cloro residual livre e turbidez), por serem determinados por métodos simples, rápidos e de menor custo. O termo sentinela remete à capacidade desses indicadores de identificar, de maneira precoce, situações de risco relacionadas à água consumida pela população.

2.0 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Monitorar a qualidade da água de abastecimento distribuída na cidade de Areia – PB, com base em indicadores sentinelas e microbiológicos, visando a obtenção de informações para subsidiar a formulação de um plano municipal de amostragem para vigilância da qualidade da água.

2.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar e descrever o sistema de distribuição de água da cidade de Areia;
- Identificar os pontos críticos da rede que possam representar risco à saúde da população;
- Descrever o comportamento dos indicadores sentinelas (cloro residual livre e turbidez), dos microbiológicos (coliformes totais, *E. coli* e bactérias heterotróficas), do pH, do cloro residual combinado e da temperatura em pontos estratégicos;
- Efetuar a comparação da viabilidade de utilização dos indicadores sentinelas relacionando-os com os microbiológicos na implementação de um plano de amostragem.

3.0 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Sistemas de abastecimento de água

A água é um elemento essencial ao ser humano; quando contaminada, influencia diretamente a saúde e a qualidade de vida da população. De acordo com a Organização Mundial de Saúde (OMS), “todas as pessoas em quaisquer estágios de desenvolvimento e condições sócio-econômicas têm o direito de ter acesso a um suprimento adequado de água potável e segura”. Para assegurar esse direito, os sistemas de abastecimento de água desempenham um importante papel, uma vez que, nesses sistemas a água bruta passa por diferentes processos até que se torne potável e não ofereça risco à saúde da população.

A Portaria do Ministério da Saúde nº 518, de 25 de março de 2004, define sistema de abastecimento de água para consumo humano como sendo uma instalação composta por um conjunto de obras civis, materiais e equipamentos, destinada à produção e à distribuição canalizada de água potável para populações, sob a responsabilidade do poder público, mesmo que administrada em regime de concessão ou permissão, assegurando que a população receba um produto que não ofereça risco à saúde. A implantação de sistemas de abastecimento de água se constitui no maior investimento para a saúde pública, visto que há uma diminuição da incidência de doenças de veiculação hídrica que acomete elevado número de pessoas, principalmente crianças menores de cinco anos.

Segundo Heller (2006), os sistemas de abastecimento de água são compostos pelas seguintes unidades (Figura 3.1):

- unidade de produção: inclui captação no manancial, adução de água bruta, tratamento e adução de água tratada;
- unidade de distribuição: inclui os reservatórios e a rede de distribuição;
- unidade de transporte: corresponde ao conjunto composto pela estação elevatória e a adutora correspondente.

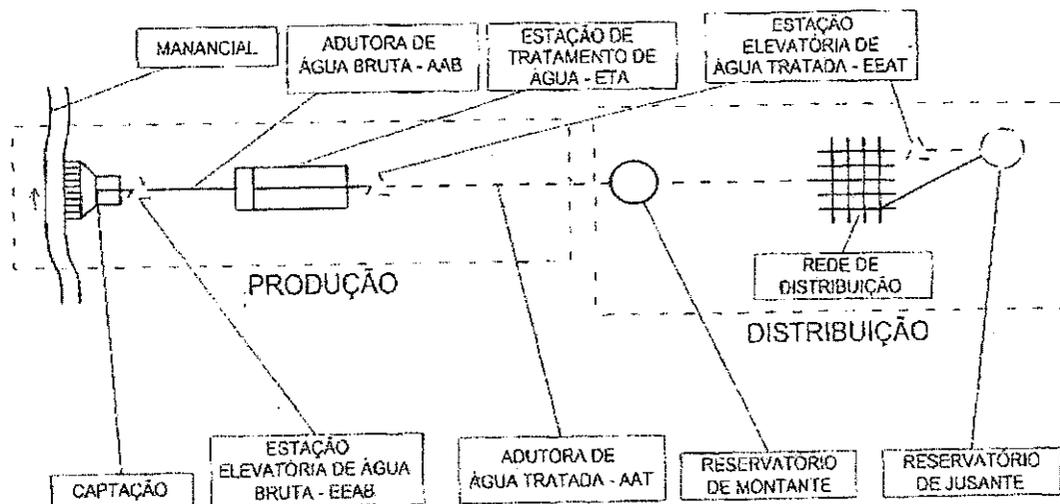


Figura 3.1 – Unidades componente de um sistema de abastecimento de água

Fonte: HELLER (2006).

De acordo com Barbosa et al. (1999), os sistemas de distribuição de água devem ser projetados e operados com o intuito de atingir vários objetivos:

a) objetivos técnicos: ligados ao desempenho hidráulico, como por exemplo, garantia de pressões mínimas e máximas, garantia de água suficiente para proteção contra incêndio, confiabilidade operacional, etc.;

b) objetivos econômicos: que são traduzidos pela minimização de custos associados aos componentes dos sistemas e aos operacionais.

Antes da implantação de qualquer sistema de abastecimento de água, é necessário considerar os seguintes elementos condicionantes que irão auxiliar na escolha do tipo de sistema a ser instalado e a tecnologia de tratamento a ser utilizada: porte da localidade, densidade demográfica, mananciais, características topográficas, instalações existentes, características geológicas e geotécnicas, energia elétrica, recursos humanos, tecnologia de tratamento e alcance do projeto no tempo (HELLER, 2006). Segundo o mesmo autor, pode ser destacado dentre os demais elementos, a importância do porte da localidade, visto que comunidades de pequeno porte podem proporcionar uma simplificação do sistema, em contrapartida as localidades de maior porte podem requerer sistemas mais complexos, em termos de sofisticação tecnológica e operacional. Na escolha do manancial deve-se realizar uma análise conjunta da quantidade e qualidade da água; e, com relação ao alcance do projeto no tempo é necessário fazer estimativas de crescimento populacional para que o projeto atenda à demanda presente e não se torne insuficiente para as futuras gerações. A tecnologia de tratamento a ser adotada no sistema deve conduzir a um menor custo sem, contudo, deixar de lado a segurança na produção de água potável (PARSEKIAN, 1998).

A implantação de um sistema de abastecimento requer um embasamento em várias normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas, como por exemplo, a NBR 12211/1989 que trata dos estudos de concepção de sistemas públicos de abastecimento de água, ou seja, trata dos estudos de arranjos, sob o ponto de vista qualitativo e quantitativo, das diferentes partes de um sistema, organizados de modo a formarem um todo integrado, para a escolha da melhor solução sob os pontos de vista técnico, econômico, financeiro e social. Além das normas da ABNT deve-se levar em consideração a Portaria do Ministério da Saúde nº 518/2004, referente à qualidade da água para consumo humano.

A maior parte das cidades com população menor que 20.000 habitantes possui sistemas de abastecimento de pequeno porte. Por serem menos complexos, os sistemas de pequeno porte são operados de maneira intuitiva, e na maioria das vezes os responsáveis pelo sistema são os próprios operadores, conseqüentemente, a água tratada por esses sistemas nem sempre obedece aos padrões de potabilidade exigidos pela legislação.

De acordo com a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2002), os menores municípios brasileiros apresentam maior deficiência em relação ao abastecimento de água; apenas 46,5% dos domicílios situados em municípios com até 20.000 habitantes contam com abastecimento de água distribuída por rede geral. Em contrapartida, 76,4% dos domicílios situados em municípios com mais de 300000 habitantes possuem esse tipo de abastecimento (Tabela 3.1).

Tabela 3.1 – Total de domicílios abastecidos e respectivas distribuições percentuais, segundo os estratos populacionais dos municípios.

ESTRATOS POPULACIONAIS	TOTAL DE DOMICÍLIOS		DOMICÍLIOS ABASTECIDOS	
	Total	Frequências (%)	Total	Frequências (%)
Total	54 265 618	100,00	34 657 561	63,9
Até 20 000 habitantes	10 617 142	19,6	4 936 835	46,5
De 20 000 a 45 000 habitantes	8 119 062	15,0	4 157 048	51,2
De 45 001 a 100 000 habitantes	7 415 699	13,7	4 625 199	62,4
De 100 001 a 300 000 habitantes	8 501 011	15,7	5 958 403	70,1
Mais de 300 000 habitantes	19 612 704	36,1	14 980 076	76,4

Fonte: Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (IBGE, 2002).

3.2 Dificuldades da operação e manutenção dos sistemas de abastecimento de cidades de pequeno porte.

A operação de um sistema de abastecimento de água em tempo real é uma tarefa muito complexa, devido à necessidade de se garantir confiabilidade no atendimento dos serviços (CARRIJO e REIS, 2004).

Uma das maiores dificuldades enfrentadas atualmente pelo setor de saneamento é o aumento populacional e, conseqüentemente, o aumento da demanda por água potável, porém, muitos dos sistemas de abastecimento foram projetados e implantados há muito tempo pelas empresas de saneamento. De acordo com Baggio (1998), essas empresas foram criadas em uma época de enormes demandas por projetos e construções de sistemas de abastecimento de água a fim de superar os déficits da cobertura de serviços, tendo sido negligenciados os aspectos de operação dos ditos sistemas. As conseqüências são sentidas hoje, constatando-se sérios comprometimentos na rotina dessas prestadoras de serviços que se deparam com inúmeras reclamações dos consumidores, a respeito da má qualidade dos serviços, chegando, em alguns casos, a conviverem com racionamentos e/ou desabastecimentos, desgastando seriamente a imagem das empresas. Esse cenário é visualizado freqüentemente nas cidades com sistemas de abastecimento de pequeno porte, onde rotineiramente, ocorrem interrupções nos serviços de abastecimento.

Outro aspecto importante que tem sido observado é que nas cidades de pequeno e médio porte, os sistemas de abastecimento são operados por funcionários (operadores) que, na maioria das vezes, possuem baixo grau de escolaridade dificultando o acesso a cursos de capacitação sobre operação e manutenção das ETAs. Conseqüentemente, maior parte desses sistemas é operada de forma “intuitiva”; ou seja, baseado na experiência dos operadores. Estudos realizados por Parsekian (1998) comprovaram que o nível de escolaridade dos operadores de ETAs, é relativamente baixo: cerca de 32% apresentam o 1º grau incompleto e 30% o 1º grau completo, ou seja, mais da metade do pessoal que trabalha nas estações de tratamento possui no máximo o primeiro grau, não percebendo, muitas vezes, o tamanho de sua responsabilidade. Segundo Di Bernardo (2000), em muitas localidades brasileiras, tem sido comum a distribuição de água que não atende ao padrão de potabilidade vigente no país, devido a problemas operacionais acarretando sérios prejuízos à qualidade da água produzida. Uma das alternativas para garantir que a água produzida nos sistemas de pequeno porte esteja de acordo com os padrões seria a contratação de laboratórios externos, que estivessem mais

próximos da ETA, para realizar as análises dos indicadores exigidos pela legislação (PAZ, 2007).

3.3 Configuração ordinária das estações de tratamento de água de cidades de pequeno porte

As estações de tratamento de água (ETAs) apresentam várias configurações, desde as mais simples (que incluem poucas operações unitárias) até as mais complexas (com várias dessas operações). Durante o tratamento, a água bruta passa por várias operações baseadas em processos físicos e químicos que vão torná-la potável; vários autores diferenciam as técnicas de tratamento de acordo com essas operações.

A Resolução CONAMA N° 357 de 17 de março de 2005, diferencia três técnicas de tratamento que devem ser utilizadas de acordo com a qualidade da água bruta:

- Tratamento simplificado: baseado na clarificação da água por meio de filtração, desinfecção e correção de pH (quando necessário);
- Tratamento convencional: baseado na clarificação com utilização de coagulação e floculação, seguida de desinfecção e correção de pH;
- Tratamento avançado: baseado em técnicas de remoção e/ou inativação de constituintes refratários aos processos convencionais de tratamento, os quais podem conferir à água características, tais como cor, odor, sabor e atividade tóxica ou patogênica.

De acordo com Pádua (2006), as técnicas de tratamento de água são diferenciadas em função dos processos e operações unitárias que possuem (Figura 3.2). O mesmo autor considera o pré-tratamento (como o micropeneiramento), a oxidação/adsorção, a estabilização química, a fluoretação e a desinfecção como etapas que podem ser comuns a todas as técnicas por ele mencionadas.

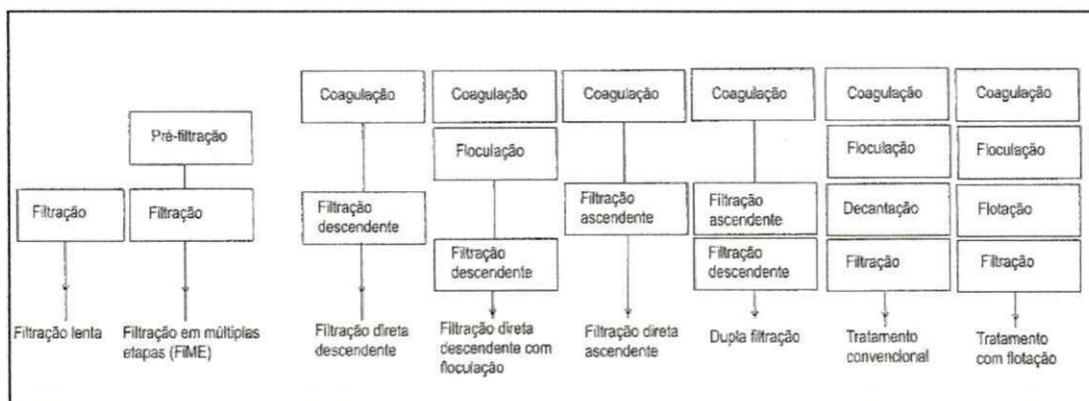


Figura 3.2 – Técnicas mais usuais de tratamento de água.

Fonte: Pádua (2006).

De todas as técnicas de tratamento a mais difundida na maior parte das cidades brasileiras é o tratamento convencional ou de ciclo completo, embora ainda sejam empregadas as técnicas de filtração direta ascendente, filtração direta descendente e a filtração lenta (PARSEKIAN, 1998).

A Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, realizada em 2000 pelo IBGE, verificou que no Brasil a maior parte do volume de água tratada distribuída (75%) passa pelo processo convencional de tratamento, empregado em maiores proporções nas Regiões Nordeste, Sudeste e Sul (Figura 3.3). Na Região Norte, onde o tratamento convencional é menos usado, a proporção da água tratada por processos não-convencionais atinge 36,8% do volume distribuído. A desinfecção simples ocorre em todas as regiões, numa proporção em torno de 20% do volume distribuído, exceto na Região Sul, onde atinge apenas 9,6%.

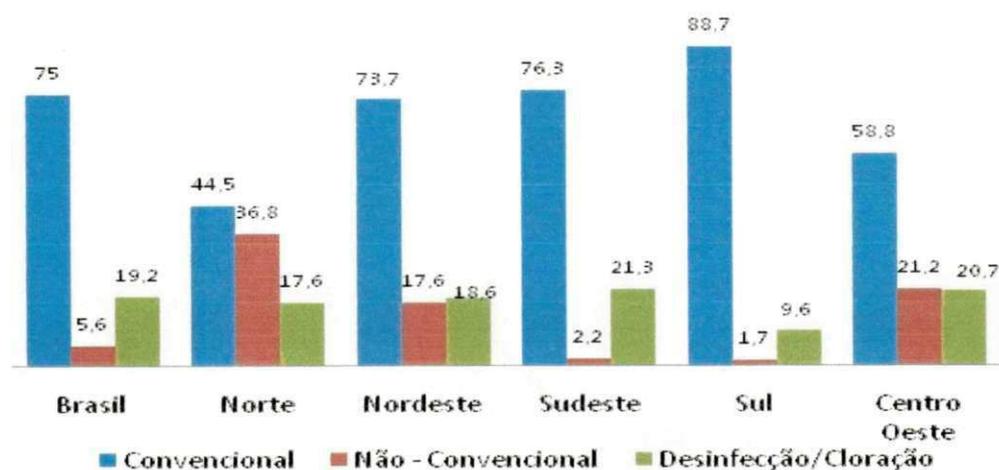


Figura 3.3 – Proporção do volume da água tratada distribuída por dia, por tipo de tratamento utilizado, segundo as Grandes Regiões.

Fonte: IBGE, 2002.

Em relação ao tamanho das localidades, a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico constatou que os municípios com mais de 300 000 habitantes tratam de forma convencional 85,7% do volume da água distribuída (Figura 3.4), os municípios com menos de 20 000 habitantes utilizam a simples cloração em 39,4% de sua água tratada e apenas 52,6% do volume distribuído recebe o tratamento convencional.

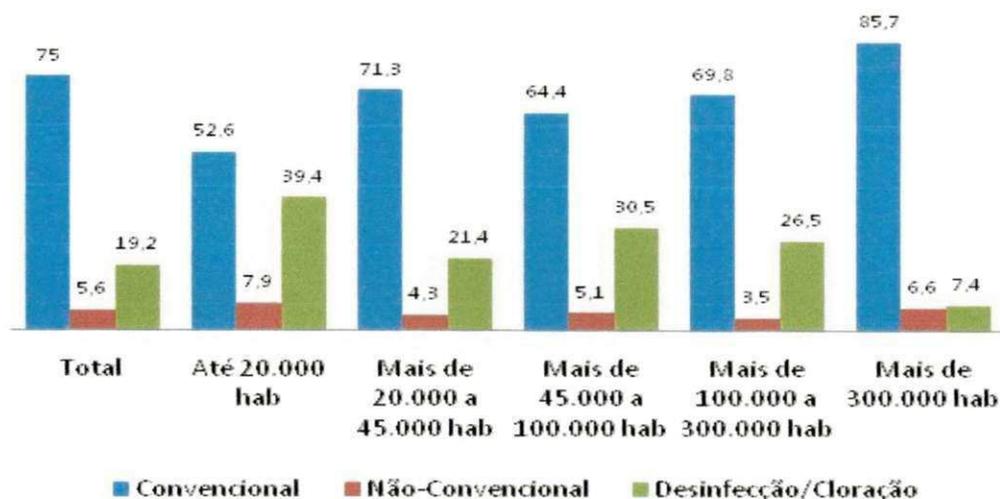


Figura 3.4 – Proporção do volume diário de água tratada e distribuída, por tipo de tratamento, segundo os estratos populacionais dos municípios.

Fonte: IBGE, 2002.

3.4 Estações de Tratamento Convencionais

Existem no Brasil cerca de 7.500 estações de tratamento de água e aproximadamente 75% destas, utilizam o tratamento convencional da água (BOTERO et al., 2009). Essas ETAs são compostas por unidades de mistura rápida, floculadores, unidades de pré-clarificação (decantadores ou flutuadores); filtros e unidades de desinfecção (SOUZA e CORDEIRO, 2005). Nessa técnica de tratamento a água passa por cinco processos: coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção (Figura 3.5).

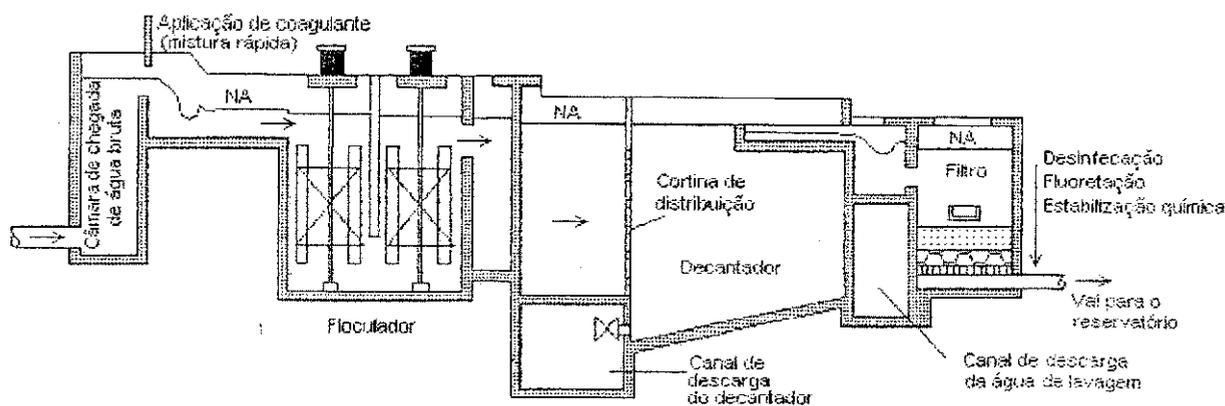


Figura 3.5 – Esquema em corte de uma ETA convencional ou de ciclo completo.
Fonte: Pádua (2006).

3.4.1 Etapas do processo de tratamento convencional

Coagulação e Mistura rápida

A água bruta contém inúmeras substâncias que podem estar dissolvidas, em suspensão fina ou em forma coloidal, ocasionando cor e turbidez à água; com isso, faz-se necessária a coagulação para facilitar a remoção dessas impurezas. As mesmas são constituídas principalmente por substâncias húmicas, microrganismos em geral e partículas coloidais, comumente possuem carga superficial negativa e quando ocorre a dispersão do coagulante na água, são originadas espécies hidrolisadas que reagem quimicamente com as impurezas ou que atuam sobre a superfície delas reduzindo a força repulsiva que tende a mantê-las estáveis em meio aquoso (PÁDUA, 2006). Com a diminuição das forças de repulsão, haverá a agregação dessas impurezas em partículas maiores e mais pesadas que serão retiradas posteriormente nas demais etapas do processo de tratamento. O processo de coagulação é muito rápido, variando de décimos de segundo até 100 segundos e acontece na unidade de mistura rápida (FERNANDES, 2007).

De acordo com a NBR 12216 da ABNT, constituem dispositivos de mistura rápida:

- qualquer trecho ou seção de canal ou de canalização que produza perda de carga compatível com as condições desejadas, em termos de gradiente de velocidade e tempo de mistura;

- difusores que produzam jatos da solução de coagulante, aplicados no interior da massa de água a ser tratada;
- agitadores mecanizados;
- entrada de bombas centrífugas.

Podem ser utilizados como dispositivo hidráulico de mistura:

- qualquer singularidade onde ocorra turbulência intensa;
- canal ou canalização com anteparos ou chicanas;
- ressalto hidráulico.

A norma da ABNT indica que, após a mistura do coagulante, o tempo máximo de percurso da água até o floculador deve corresponder a 1 min, tempo este que pode ser aumentado para até 3 min quando, entre a mistura e a floculação, existe um sistema capaz de conferir à água gradiente de velocidade igual ou superior ao do início no floculador.

A coagulação é realizada geralmente com sais de alumínio e de ferro, sendo que a maioria das estações de tratamento de água utiliza o sulfato de alumínio como coagulante.

A eficiência do processo de coagulação/floculação é influenciada por fatores como o pH e a alcalinidade da água bruta, natureza das partículas coloidais, tamanho das partículas causadoras da turbidez, adequação do coagulante à água bruta, uniformidade da dispersão dos produtos químicos, dosagem do coagulante e intensidade de agitação (LIBÂNIO et al., 1997; FERNANDES, 2007).

Floculação

A floculação é o fenômeno pelo qual as partículas desestabilizadas na etapa de coagulação se chocam umas com as outras formando os flocos (VALÊNCIA, 2000). De acordo com o mesmo autor, após a desestabilização, os colóides se aglutinam inicialmente em microflocos com diâmetro inferior a um micro (menos que 60 segundos para sua formação), posteriormente ocorre a aglutinação em partículas maiores (16,8 a 546 segundos) e, finalmente, se hidratam e aumentam de volume.

A floculação apresenta dois objetivos básicos (VALÊNCIA, 2000):

- reunir os microflocos para formar partículas maiores e com peso específico superior ao da água;

- compactar o floco para produzir uma baixa concentração volumétrica, permitindo uma alta eficiência na fase de separação dos sólidos (sedimentação e filtração).

De acordo com a NBR 12216 da ABNT (1992), os floculadores são unidades utilizadas para promover a agregação de partículas formadas na mistura rápida, podendo ser mecanizadas ou hidráulicas. Para que ocorra uma boa formação de flocos a água deve ser mantida sob agitação nos diferentes compartimentos dos floculadores; essa agitação não deve ser tão intensa, pois pode ocasionar a ruptura dos flocos formados. Outro aspecto que deve ser observado é o gradiente de velocidade ao longo dos diferentes compartimentos do floculador, o qual deve ser decrescente e, de acordo com a ABNT, entre um máximo de 70 s^{-1} , no primeiro compartimento, e um mínimo de 10 s^{-1} , no último. Em relação ao tempo de detenção a norma estabelece um tempo de 20 a 30 minutos para floculadores hidráulicos, e de 30 a 40 minutos para floculadores mecanizados. De acordo com Parsekian (1998), o gradiente médio de velocidade e o tempo de floculação são parâmetros importantes para que essa etapa do tratamento seja bem sucedida.

Decantação

A decantação corresponde ao processo no qual os flocos formados na etapa de floculação são removidos da água por ação da gravidade auxiliando na clarificação da mesma e diminuindo a carga de sólidos aplicada aos filtros. A decantação e a filtração são processos complementares, sendo a decantação responsável pela separação dos sólidos mais densos que a água e a filtração pela separação dos sólidos que tenham uma densidade próxima à da água ou que, por algum motivo, não tenham sido removidos na decantação (VALÊNCIA, 2000). Segundo Tangerino et al., (1998), a decantação também auxilia a remoção de bactérias presentes na água.

O processo de decantação ocorre em unidades denominadas decantadores. De acordo com ABNT (1992), decantadores são unidades destinadas à remoção de partículas presentes na água, pela ação da gravidade, os quais podem ser convencionais, ou de baixa taxa, e de elementos tubulares, ou de alta taxa. A referida norma diz ainda que o número de decantadores da ETA depende de fatores operacionais e econômicos, observando-se o seguinte:

- estações com capacidade inferior a $1000 \text{ m}^3/\text{dia}$, em operação contínua, ou estações com capacidade de até $10000 \text{ m}^3/\text{dia}$, com período de funcionamento inferior a 18

h/dia, podem dispor de apenas uma unidade de decantação, desde que não-mecanizada;

- estações com capacidade superior a 10000 m³/dia, ou com período de funcionamento superior a 18 h/dia ou ainda em que os decantadores são mecanizados, devem contar pelo menos com duas unidades iguais.

Filtração

A etapa de filtração tem como objetivo retirar os sólidos ainda presentes na água após a decantação. A filtração como processo de tratamento de água foi provavelmente criada pelo homem, como resultado da observação da limpeza da água subterrânea, atribuída à passagem da mesma pelos solos naturais, tendo-se notícia que, desde o século XVI, a filtração, como método de clarificação da água, já se encontrava difundida (PATERNIANI & CONCEIÇÃO, 2004).

O processo de filtração é imprescindível para a produção contínua e segura de água potável e pode ser rápida ou lenta, dependendo da taxa de filtração (DI BERNARDO et al., 1999).

A NBR 12216 (1992) define filtros lentos como unidades destinadas a tratar águas tipo B (águas subterrâneas ou superficiais, provenientes de bacias não-protégidas que possam enquadrar-se nos padrões de potabilidade, mediante processo de tratamento que não exija coagulação; ou águas superficiais doces e/ou salobras que, de acordo com a Resolução Conama 357/2005, podem ser potabilizadas com a aplicação de tratamento simplificado), ou águas que, após pré-tratamento, se enquadrem nas desse tipo. A referida norma também define filtro rápido como unidades destinadas a remover partículas em suspensão, em caso de a água a tratar ser submetida a processo de coagulação, seguido ou não de decantação ou quando comprovado que as partículas capazes de provocar turbidez indesejada possam ser removidas pelo filtro, sem necessidade de coagulação.

Segundo Júlio et al., (2009), quando os processos e operações de mistura rápida, floculação e decantação não são realizados de maneira eficiente, isso acarreta uma maior concentração de impurezas na água afluenta aos filtros, saturando os mesmos mais rapidamente, acarretando uma diminuição das carreiras de filtração e, conseqüentemente, um maior consumo de água de lavagem dos filtros. Isto pode também resultar num aumento da turbidez e comprometer a desinfecção da água distribuída.

Desinfecção

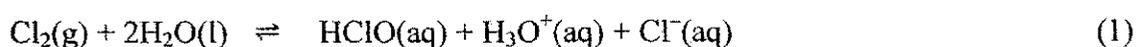
Na maior parte das estações de tratamento de água, a desinfecção é realizada com produtos à base de cloro. Através da desinfecção, a água torna-se segura ao consumo, pois o principal objetivo dessa etapa é inativar ou eliminar os organismos patogênicos presentes na água diminuindo o risco à saúde da população.

Segundo Pádua (2006), a desinfecção da água tem caráter corretivo e preventivo; no primeiro caso, objetiva-se eliminar organismos patogênicos que possam estar presentes na água; e no segundo caso, manter um residual do desinfetante na água fornecida à população, prevenindo alguma contaminação na rede de distribuição.

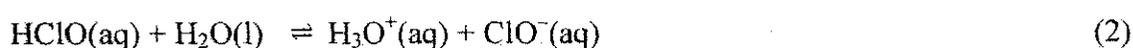
A desinfecção pode ser realizada por agentes físicos e químicos. Dentre os agentes físicos destaca-se a radiação ultravioleta. Em relação aos agentes químicos o desinfetante mais utilizado é o cloro (Cl_2), líquido ou gasoso; existem também desinfetantes alternativos ao cloro como, por exemplo, o ozônio (O_3), o dióxido de cloro (ClO_2) e o permanganato de potássio (KMnO_4) (SANCHES et al., 2003).

Os desinfetantes químicos têm permitido melhora da qualidade de vida e diminuição da mortalidade infantil por doenças entéricas, com uma eficiência sem precedentes na história da humanidade (DANIEL, 2001). O autor também relata que devido a esses agentes serem oxidantes fortes podem gerar alguns subprodutos da desinfecção que apesar da pequena concentração, podem causar danos à saúde dos usuários de água tratada e ao meio ambiente.

Um dos fatores que mais interfere na desinfecção com cloro é o pH. Segundo Sanches et al. (2003), alguns estudos relatam que a maior eficiência da cloração encontra-se quando o pH da água está em torno de 6. Abaixo desse valor a água se torna muito corrosiva. Com a dissociação do cloro na água, há formação de ácido hipocloroso e íon hipoclorito que estão em equilíbrio com o íon hidrogênio, e as quantidades relativas dos dois primeiros dependem da quantidade deste último. As reações abaixo demonstram essa reação (SANCHES et al., 2003):



Dependendo do pH da água o HClO se ioniza formando o íon hipoclorito:



A Portaria 518/2004 do Ministério da Saúde recomenda o cloro como agente desinfetante, mas também admite a utilização de outro agente desinfetante ou outra condição de operação do processo de desinfecção, desde que fique demonstrada pelo responsável pelo sistema de tratamento sua eficiência de inativação microbiana.

3.5 Evolução dos processos de tratamento de água de cidades de pequeno porte

Um dos tratamentos mais antigos e eficazes é a fervura da água, porém, do ponto de vista prático, esta técnica é restrita à aplicação no âmbito das unidades residenciais (CEBALLOS et al., 2009). A fervura apesar de ser uma prática muito antiga, ainda é utilizada em localidades onde não há sistemas de abastecimento de água.

Da segunda metade do século XIX à primeira metade do século XX, o tratamento da água teve como objetivo central a clarificação e a remoção de organismos patogênicos, mas com o desenvolvimento agrícola e industrial que ocorreu no século XX, foi necessário o desenvolvimento e emprego de técnicas de tratamento mais específicas e/ou complexas; com isso, as tecnologias convencionais de tratamento visando a clarificação e desinfecção da água foram sendo aprimoradas, incorporando novas técnicas ou variantes, tais como a flotação, a filtração direta, a filtração em múltiplas etapas, além do emprego de novos desinfetantes (CEBALLOS et al., 2009).

Dentre as tecnologias de tratamento disponíveis, a filtração lenta é uma das mais antigas, sendo criada em 1804 por James Gibb na Escócia (FERREIRA JÚNIOR, 2002). A filtração lenta, por ser uma tecnologia antiga, foi uma das primeiras formas de tratamento a ser implantada e, até hoje, algumas cidades principalmente de pequeno porte e comunidades situadas em áreas rurais utilizam essa tecnologia para tratar a água que será consumida. Com o passar do tempo, os mananciais que abastecem a população foram sendo contaminados com diversas substâncias e, com isso, foi necessária a criação de novas tecnologias que pudessem tratar essa água e torná-la segura para o consumo. Atualmente, a tecnologia mais utilizada é o tratamento de ciclo completo, que vem substituindo as demais formas de tratamento da água ao longo do tempo.

3.6 Controle e Vigilância da qualidade da água de abastecimento

A Portaria 518/2004 do Ministério da Saúde define controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano da seguinte forma:

- controle da qualidade da água para consumo humano: conjunto de atividades exercidas de forma contínua pelo (s) responsável (is) pela operação de sistema ou solução alternativa de abastecimento de água, destinadas a verificar se a água fornecida à população é potável, assegurando a manutenção desta condição;
- vigilância da qualidade da água para consumo humano: conjunto de ações adotadas continuamente pela autoridade de saúde pública, para verificar se a água consumida pela população atende a esta Norma e para avaliar os riscos que os sistemas e as soluções alternativas de abastecimento de água representam para a saúde humana.

A legislação brasileira adota o entendimento preconizado pela Organização Mundial de Saúde, no qual o controle de qualidade da água é uma atribuição (obrigatória) dos responsáveis pelo abastecimento de água, enquanto a vigilância da qualidade da água é exercida, de forma independente, pelas autoridades de saúde pública (PINTO et al., 2005). Tanto o controle quanto a vigilância da qualidade da água são instrumentos essenciais para a garantia da proteção à saúde da população (BRASIL, 2006b).

As ações de controle e vigilância da qualidade da água têm sido extremamente tímidas e muitos municípios e localidades não dispõem de pessoal e de laboratórios capazes de realizar a monitoração da qualidade da água, do manancial ao sistema de distribuição, tendo, até mesmo, dificuldades em cumprir as exigências das normas brasileiras (BRASIL, 2006b). Por meio das ações de vigilância e controle, realizadas de maneira adequada pode-se diminuir os riscos de distribuir uma água que não atenda aos padrões de potabilidade exigidos pela legislação brasileira e que venha oferecer risco à saúde da população.

Apesar das ações de vigilância constituírem atribuições do setor saúde desde 1977, as ações nessa área, com exceção de poucos municípios e estados, estiveram sempre desarticuladas e sem uma programação específica que abrangesse objetivos e orientasse atividades para seu cumprimento (BEVILACQUA et al., 2007).

Atualmente, existe o Programa Nacional de Vigilância em Saúde Ambiental relacionada à Qualidade da Água para Consumo Humano (VIGIAGUA), que consiste no conjunto de ações adotadas continuamente pelas autoridades de saúde pública para garantir que a água consumida pela população atenda ao padrão e normas estabelecidas na legislação

vigente e para avaliar os riscos que a água consumida representa para a saúde humana (BRASIL, 2006d). Na Tabela 3.2, encontra-se um histórico da implantação da vigilância da qualidade da água para consumo humano no Brasil.

Tabela 3.2 – Histórico da implantação da vigilância da qualidade da água para consumo humano.

Data	Legislação	Comentários
1977	Decreto Federal nº 79.367	Estabelece a competência do Ministério da Saúde sobre a definição do Padrão de Potabilidade da Água de Consumo Humano, a ser observado em todo território Nacional.
1988	Constituição Federal	Compete ao SUS além de outras atribuições: participar da formulação da política e da execução das ações de saneamento básico, bem como fiscalizar e inspecionar alimentos, compreendido o controle de seu teor nutricional, bem como bebidas e águas para consumo humano. Em seu artigo 200, inciso VI, explicita a obrigatoriedade de se realizar a fiscalização e a inspeção da água para consumo humano
1990	Lei nº 8080 (Lei Orgânica da Saúde)	Reforça, ainda mais, a responsabilidade do setor saúde no que se refere à fiscalização das águas destinadas ao consumo humano
1999		Instituição do Sistema Nacional de Vigilância Ambiental em Saúde (SINVAS).
2000		A FUNASA implementou algumas diretrizes para viabilizar o desenvolvimento das ações de vigilância da qualidade da água para consumo humano, destacando-se a criação de um Sistema de Informação de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano (SISAGUA).
2002		Concepção do Programa Nacional de Vigilância em Saúde Ambiental, relacionada à Qualidade da Água para Consumo Humano.
2003		Instituição da Secretaria de Vigilância em Saúde, do Ministério da Saúde – SVS/MS, que assumiu as atribuições do Centro Nacional de Epidemiologia (Cenepi).

Fonte: Brasil (2006d).

3.7 Padrões de Potabilidade

Os padrões de potabilidade correspondem aos valores limites de determinadas substâncias de natureza física, química, microbiológica ou radioativa, que venha oferecer algum tipo de risco à saúde da população que utiliza determinada água para seu consumo.

A legislação brasileira toma por base a experiência internacional disponível para estabelecimento do padrão de potabilidade, cujos valores máximos permissíveis adotados são os sugeridos pela Organização Mundial de Saúde (BASTOS et al., 2004).

A Portaria nº 518/2004 do Ministério da Saúde estabelece o padrão de potabilidade para água destinada ao consumo humano, esses padrões são subdivididos em:

- Padrão microbiológico;
- Padrão de turbidez para água pós-filtração ou pré-desinfecção;
- Padrão de potabilidade para substâncias químicas que representam risco à saúde (inorgânicas, orgânicas, agrotóxicos, desinfetantes e produtos secundários da desinfecção);
- Padrão de radioatividade;
- Padrão de aceitação para consumo humano.

O padrão de aceitação para consumo humano é estabelecido com base em critérios de ordem estética e organoléptica da água, e visa evitar a rejeição ao consumo, que levaria à busca de outras fontes de água, eventualmente menos seguras do ponto de vista sanitário (PÁDUA e FERREIRA, 2006).

A água que obedece ao padrão de potabilidade não oferece risco à saúde da população. Para que essa condição seja mantida é necessária a ação conjunta do controle e da vigilância da qualidade da água para monitorar os sistemas de abastecimento de água ou soluções alternativas garantindo assim que a saúde da população não esteja exposta a nenhum risco. De acordo com o artigo 2º da Portaria 518/2004, toda água destinada ao consumo humano deve obedecer ao padrão de potabilidade e está sujeita à vigilância da qualidade da água.

3.8 Evolução dos padrões brasileiros

A evolução dos padrões brasileiros é descrita por Freitas e Freitas (2005) e Ceballos et al. (2009), sendo apresentada a seguir:

“A primeira norma de potabilidade foi criada no Brasil pelo decreto federal nº 79.367 de 9 de março de 1977, que estabeleceu a competência do Ministério da Saúde sobre a definição do padrão de potabilidade da água para consumo humano, a ser observado em todo território nacional, através da Portaria no 56 Bsb, publicada em 14 de março de 1977. Considera-se esta a primeira norma de potabilidade, uma vez que abrangia diferentes constituintes químicos e microbiológicos prejudiciais à saúde humana. Entretanto, é

importante registrar, que a Portaria 635 BsB de 26/12/1975, regulamentada pela Lei Federal nº. 6050, dispunha sobre a necessidade de fluoretação da água de sistemas de abastecimento provenientes de estações de tratamento.

A Portaria 56 Bsb aprovou a norma e o padrão de potabilidade da água para fins de consumo humano. De acordo com essa Portaria, caberia às Secretarias de Saúde dos Estados e aos órgãos equivalentes dos territórios e Distrito Federal o exercício de fiscalização e o controle do exato cumprimento das Normas e do Padrão de Potabilidade. Em 1990, o Ministério da Saúde procedeu a revisão da Portaria nº 56/BsB, que foi substituída pela Portaria 36GM publicada em 19 de janeiro de 1990. Entre as principais inovações introduzidas pela Portaria 36 GM/90, estão: 1) a definição de controle e vigilância da qualidade da água; 2) a definição de serviço e sistema de abastecimento de água; e 3) a inclusão e revisão de alguns parâmetros químicos e microbiológicos.

A segunda revisão ocorreu dez anos depois, extrapolando a recomendação do prazo máximo de cinco anos, contida na Portaria 36 GM/90, após a sua promulgação. Em 29 de dezembro de 2000 foi publicada a Portaria nº. 1469 (MS, 2000), estabelecendo o controle e a vigilância da qualidade da água para o consumo humano e seu padrão de potabilidade. O prazo de adequação das instituições ou órgãos para o cumprimento da norma venceu em janeiro de 2003, exceto para a monitoração de cianobactérias, que teve um prazo-limite de implementação de três anos após a publicação da portaria, visando a adequação, em termos de recursos e tecnologia, por parte das companhias de água e saneamento do país. A principal inovação trazida pela Portaria 1469 foi a classificação dos tipos de sistemas de abastecimento de água em: sistema coletivo e sistema ou solução alternativa de abastecimento de água. Na Tabela 3.3, estão sendo apresentadas as principais diferenças entre as três normas de potabilidade que já estiveram em vigor no país.

Após quatro anos, a Portaria nº 1469 foi substituída pela Portaria nº 518, publicada em 25 de março de 2004, sendo essencialmente uma reedição da 1469, com pequenas alterações relacionadas à transferência de competências no âmbito do Ministério da Saúde e a prorrogação de prazos para o cumprimento de alguns quesitos.

Tabela 3.3 – Comparativo das portarias de Potabilidade de Água para Consumo Humano de 1977 a 2000.

Normas/Características	Portaria nº 56 Bsb (13/03/1977)	Portaria nº 36/90 (19/01/1990)	Portaria nº 1469/00 (02/01/2001)
Amostragem e frequência	Apresenta uma metodologia de amostragem e frequência, baseada no número de habitantes e no tipo de constituinte a ser analisado.	Apresenta uma metodologia de amostragem e frequência, baseada no número de habitantes e no tipo de constituinte que vai ser analisado.	Inclui a necessidade de um plano de amostragem e frequência para os sistemas alternativos de abastecimento de água.
Valor máximo permitido	Inclui valores máximos permitidos e valores máximos desejáveis.	Reproduz os valores máximos permitidos recomendados pela OMS, Comunidade Européia e Norma canadense. Não apresenta mais a definição de valores máximos desejáveis.	A revisão dispõe sobre novos constituintes, tais como cianotoxinas, cianobactérias e recomendações operacionais sobre criptosporidium, seguindo basicamente os valores máximos recomendados pela OMS.
Ações descentralizadas	As ações de fiscalização e controle são exercidas pelo MS em articulação com as SES's.	As ações de fiscalização e controle são exercidas pelo MS em articulação com as SES's.	Repasa uma maior responsabilidade das ações de vigilância para os municípios.
Ações interinstitucionais	Não previa.	Não previa.	Situa a importância dos órgãos de controle ambiental no controle da qualidade da água do manancial usada para captação.
Informação	As informações são centralizadas pelo MS em articulação com as SES's. Não prevê a disponibilidade das informações sobre a qualidade da água.	As informações são centralizadas pelo MS em articulação com as SES's. Não prevê a disponibilidade das informações sobre a qualidade da água.	Destaca que os responsáveis pelos sistemas de abastecimento devem repassar as informações sobre a qualidade da água ao conselho de defesa do consumidor com periodicidade mínima anual e, com periodicidade mensal, às autoridades de saúde pública.
Controle e vigilância	Não define vigilância, mas as SESs se obrigam a manter um registro permanente de informações sobre a qualidade da água dos sistemas de abastecimento públicos, bem como fornecer ao MS, notificando imediatamente a ocorrência de fato epidemiológico que possa estar relacionado ao comprometimento da qualidade da água fornecida.	Define controle e vigilância da qualidade da água. Define as responsabilidades e competências sobre a vigilância (MS e SES's) e controle (os serviços de abastecimento de água).	Define controle e vigilância da qualidade da água sobre os sistemas de abastecimento de água coletivo e alternativo. Define as responsabilidades e competências sobre a vigilância e controle, e sobre os dois tipos de sistemas de abastecimento no sentido de operar estes sistemas de acordo com as Normas da ABNT (1996).

Fonte: Freitas e Freitas (2005).

3.9 Indicadores de qualidade da água

Na água podem ser encontradas inúmeras constituintes de natureza física, química ou biológica, que podem servir como indicadores nos programas de monitoração da qualidade

da água. A Portaria 518/2004 indica os parâmetros ou indicadores que devem ser quantificados quando é realizada a monitoração da qualidade da água para consumo humano. A Resolução CONAMA 357/2005 define parâmetros de qualidade da água como substâncias ou outros indicadores representativos da qualidade da água. A Tabela 3.4, lista alguns dos parâmetros ou indicadores de qualidade da água mencionados na Portaria 518/2004.

Os indicadores de qualidade têm como papel principal a transformação de dados em informações relevantes para os tomadores de decisão e o público (CALIJURI et al., 2009)

Tabela 3.4 – Indicadores de qualidade da água apresentados na Portaria nº 518/2004.

Padrões de potabilidade	Parâmetros que os constituem
Padrão microbiológico	Coliformes Totais, Coliformes Termotolerantes, Bactérias Heterotróficas, <i>Escherichia coli</i> .
Padrão para turbidez	Turbidez
Padrão para substâncias químicas	Inorgânicas: Antimônio, Arsênio, Bário, Cádmio, Cianeto, Chumbo, Cobre, Cromo, Fluoreto, Mercúrio, Nitrato, Nitrito, Selênio. Orgânicas: Acrilamida, Benzeno, Cloreto De Vinila, 1,2 Dicloroetano, 1,1 Dicloroetano, Diclorometano, Estireno, Tetracloroeto De Carbono, Tetracloroetano, Triclorobenzenos, Tricloroetano. Agrotóxicos: Alaclor, Aldrin E Cieldrin, Atrazina, Bentazona, Clordano, 2,4 D, Ddt, Endossulfan, Endrin, Glifosato, Heptacloro E Heptacloro Epóxido, Hexaclorobenzeno, Lindano, Metolacloro, Metoxicloro, Molinato, Pendimetalina, Pentaclorofenol, Permetrina, Propanil, Simazina, Trifluralina. Cianotoxinas: Microcistinas Desinfetantes e produtos secundários da desinfecção: Bromato, Clorito, Cloro Livre, Monocloramina, 2,4,6 Triclorofenol, Trihalometanos.
Padrão de radioatividade	Radioatividade alfa global e radioatividade beta global
Padrão de aceitação para consumo humano	Alumínio, Amônia, Cloreto, Cor Aparente, Dureza, Etilbenzeno, Ferro, Manganês, Monoclorobenzeno, Odor, Gosto, Sódio, Sólidos Dissolvidos Totais, Sulfato, Sulfeto De Hidrogênio, Surfactantes, Tolueno, Turbidez, Zinco, Xileno.

Fonte: Pádua e Freitas (2006).

Os indicadores devem ser selecionados de acordo com o tipo de monitoração que se pretende realizar, devendo-se escolher e quantificar os que sejam capazes de indicar o risco potencial à saúde do consumidor.

Atualmente, com a implantação dos planos de amostragem para vigilância da qualidade da água nas cidades brasileiras, foram propostos os indicadores sentinelas que recebem essa denominação pelo fato de poder sinalizar de maneira preventiva qualquer irregularidade na água distribuída pelos sistemas. A legislação brasileira por meio da Diretriz Nacional do Plano de Amostragem da Vigilância Ambiental em Saúde relacionada à qualidade da água para consumo humano estabelece como indicadores sentinelas o cloro residual livre e a turbidez (que assume uma função de indicador sanitário e não meramente estético).

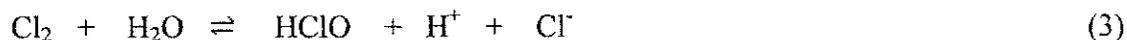
3.9.1 Indicadores Sentinelas

O termo sentinela, utilizado para os indicadores sanitários, analogamente, pretende conferir a esses indicadores a condição de instrumentos de identificação precoce de situações de riscos em relação à água consumida pela população que podem resultar em doenças de transmissão hídrica, passíveis de prevenção e controle com medidas de saneamento básico (BRASIL, 2006a).

De acordo com a Diretriz Nacional do Plano de Amostragem da Vigilância Ambiental em Saúde relacionada à qualidade da água para consumo humano, todos os municípios devem implantar os indicadores sentinelas (cloro residual livre e turbidez), independentemente de seu porte, no plano de amostragem para efetivar a vigilância da qualidade da água.

Cloro Residual Livre

Quando o cloro é adicionado à água isenta de impurezas é hidrolisado e ocorre a formação de ácido hipocloroso e íons hidrogênio e cloreto. Dependendo do pH da água, o ácido hipocloroso se ioniza formando íons hidrogênio e o íon hipoclorito, conforme as reações abaixo:



A Figura 3.6 representa o efeito do pH na distribuição das concentrações relativas do ácido hipocloroso e do íon hipoclorito na água:

O cloro residual livre corresponde à soma do ácido hipocloroso com o íon hipoclorito. O cloro residual livre constitui o indicador mais importante de controle de qualidade na prática da cloração de águas de abastecimento (SILVA e OLIVEIRA, 2001).

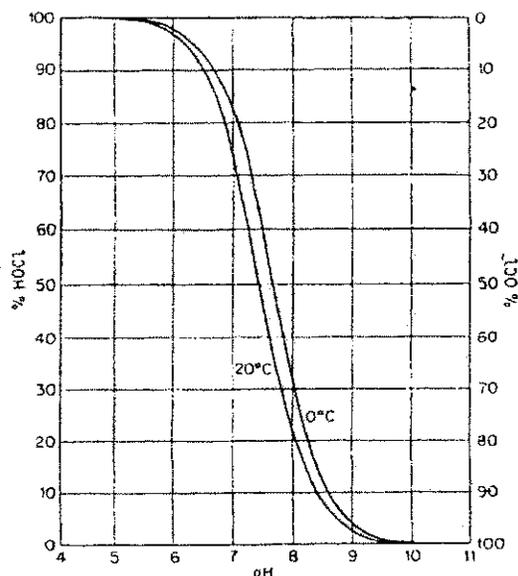


Figura 3.6 – Efeito do pH na distribuição do ácido hipocloroso e do íon hipoclorito na água
 Fonte: Morris (1951) apud WHO (2004).

O cloro residual livre é considerado um indicador sentinela porque sua concentração vai sendo diminuída, devido a reação com várias substâncias orgânicas e inorgânicas encontradas nas tubulações; conseqüentemente, se houve uma queda brusca na concentração desse indicador a água pode ficar desprotegida e, com isso, sofrer uma nova contaminação, colocando em risco a saúde da população.

A Portaria MS 518/2004 recomenda que, após a desinfecção, a água deve conter um teor mínimo de cloro residual livre de 0,5 mg/L, sendo obrigatória a manutenção de, no mínimo, 0,2 mg/L em qualquer ponto da rede de distribuição, recomendando-se que a cloração seja realizada em pH inferior a 8,0 e tempo de contato mínimo de 30 minutos.

Turbidez

A turbidez corresponde à principal característica física da água, sendo a expressão da propriedade ótica que causa dispersão e absorção da luz, ao invés de sua transmissão em linha reta através da água (SILVA e OLIVEIRA, 2001).

As partículas causadoras de turbidez são provenientes do processo erosivo do solo principalmente quando a vegetação ciliar foi destruída, despejos de atividades industriais ou de esgoto doméstico que são lançados no manancial sem nenhum tipo de tratamento.

A turbidez corresponde ao outro indicador sentinela estabelecido pela legislação brasileira e quando está elevada na água tratada indica que alguma operação do processo de tratamento não está sendo eficiente; conseqüentemente, a população pode estar utilizando uma água contaminada, visto que o processo de desinfecção pode ser prejudicado, pois os microrganismos patogênicos podem ficar protegidos por partículas causadoras de turbidez dificultando o contato com o desinfetante. Nessa situação a turbidez assume função de indicador sanitário e não meramente estético (BRASIL, 2006a)

A Portaria MS 518/2004 estabelece que o valor máximo permitido será de 1,0 UT (unidade de turbidez) para água subterrânea desinfetada e para água filtrada (filtração rápida) após tratamento convencional ou filtração direta. Para água tratada por filtração lenta o valor máximo permitido é de 2,0 UT. O padrão de aceitação para consumo humano estabelece 5,0 UT.

3.9.2 Potencial Hidrogeniônico - pH

O potencial hidrogeniônico (pH) está relacionado com a condição ácida ou básica de uma solução. É definido como o cologarítimo decimal da concentração efetiva ou atividade dos íons hidrogênio (SILVA e OLIVEIRA, 2001):

$$\text{pH} = - \log a_{\text{H}^+}$$

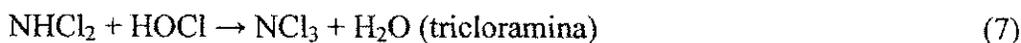
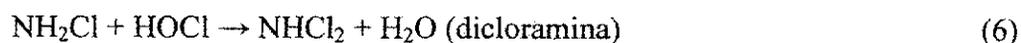
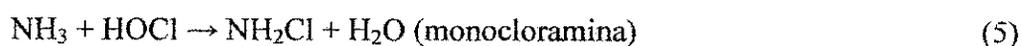
O pH varia em uma escala de 0 a 14; na faixa de 0 a 7 indica condição ácida; acima de 7 condição básica e caso esteja igual a 7 indica neutralidade do meio.

Em relação à água de abastecimento, o pH interfere diretamente em algumas operações unitárias do processo de tratamento da água, como a coagulação e a desinfecção. Segundo Duarte et al (2009), o pH da água tratada está associado, principalmente, com a ação desinfetante do cloro utilizado na desinfecção, dependendo do pH vários compostos com capacidades diferentes de desinfecção, inclusive inativos, são formados.

A Portaria (MS) 518/2004 recomenda que, no sistema de distribuição, o pH da água seja mantido na faixa de 6,0 a 9,5. O pH ácido ocasiona o desgaste das tubulações e diminui a vida útil das mesmas (DUARTE et al, 2009).

3.9.3 Cloro Residual Combinado

Quando os compostos nitrogenados estão presentes na água, a adição do cloro resulta na formação do cloro residual combinado (cloraminas). Segundo Borges et al. (2002), as reações que dão origem às cloraminas (monocloramina (NH_2Cl), dicloramina (NHCl_2) e tricloramina (NCl_3)) são as seguintes:



A distribuição da concentração das cloraminas depende de uma variedade de fatores, tais como, proporção cloro/amônia, ponto de adição da amônia em relação ao do cloro, a eficiência da mistura e o pH (BORGES et al., 2002), sendo que a diminuição do pH e o aumento da relação cloro/nitrogênio favorece a formação de produtos mais clorados (SANCHES et al., 2003). A dicloramina tem maior efeito bactericida, seguida da monocloramina; a tricloramina praticamente não possui efeito desinfetante (SANCHES et al., 2003).

3.9.4 Coliformes totais e *Escherichia coli*

A Portaria 518/2004 do Ministério da Saúde define coliformes totais como bacilos gram-negativos, aeróbios ou anaeróbios facultativos, não formadores de esporos, oxidase - negativos, capazes de desenvolver na presença de sais biliares ou agentes tensoativos que fermentam a lactose com produção de ácido, gás e aldeído a $35,0 \pm 0,5$ °C em 24-48 horas, e que podem apresentar atividade da enzima β - galactosidase.

O isolamento de coliformes totais, embora não guarde relação exclusiva com contaminação de origem fecal, serve como indicador da integridade do sistema de distribuição (BASTOS et al., 2000). Águas insuficientemente tratadas (sem a garantia de residual de cloro ou a presença de infiltrações na tubulações) podem permitir o acúmulo de sedimentos ou

matéria orgânica promovendo o desenvolvimento de bactérias no sistema de distribuição, incluindo as do grupo coliforme que não a *E. coli* (BRASIL, 2006c).

A Portaria 518/2004 do Ministério da Saúde define *Escherichia Coli* como bactéria do grupo coliforme que fermenta a lactose e manitol, com produção de ácido e gás a $44,5 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ em 24 horas, produz indol a partir do triptofano, oxidase negativa, não hidroliza a uréia e apresenta atividade das enzimas β galactosidase e β glucoronidase, sendo considerada o mais específico indicador de contaminação fecal recente e de eventual presença de organismos patogênicos.

De acordo com a publicação do Ministério da Saúde “Inspeção sanitária em abastecimento de água” (2006), existem alcances e limitações no emprego dos coliformes como indicadores da qualidade da água para consumo humano, como por exemplo:

- Em qualquer situação, o indicador mais preciso de contaminação da água é a *E. coli*, cuja presença é interpretada como sinal de contaminação.
- Em amostras de água tratada, a determinação de coliformes totais é suficiente, por apresentar taxa de inativação similar ou superior a dos coliformes termotolerantes e *E. coli*. A ausência de coliformes totais na água tratada indicada ausência de bactérias patogênicas; cuja presença está ligada a falhas no tratamento.
- Coliformes não são indicadores plenos da eficiência do tratamento de água e devem ser empregados com critérios e ressalvas. Vírus e protozoários são mais resistentes a desinfecção que os coliformes. Portanto, a simples ausência de coliformes não constitui garantia absoluta de potabilidade. A verificação da eficiência do tratamento depende de indicadores complementares, tais como a turbidez e o cloro residual livre

A Portaria MS 518/2004 estabelece que a água destinada ao consumo humano em qualquer situação, incluindo fontes individuais como poços, minas e nascentes deve ter ausência de *Escherichia coli* em 100 ml da amostra.

3.9.5 Bactérias Heterotróficas

A Portaria 518/2004 do Ministério da Saúde define bactérias heterotróficas como microrganismos capazes de produzir unidades formadoras de colônias (UFC), na presença de compostos orgânicos contidos em meio de cultura apropriado, sob condições preestabelecidas de incubação: $35,0 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ por 48 horas. A referida norma estabelece que em 20% das

amostras mensais para análise de coliformes totais nos sistemas de distribuição, deve ser efetuada a contagem de bactérias heterotróficas e, uma vez excedidas 500 unidades formadoras de colônia (UFC) por ml, devem ser providenciadas imediata coleta, inspeção local e, se constatada irregularidade, outras providências cabíveis.

A determinação da densidade de bactérias heterotróficas em águas é um importante instrumento auxiliar no controle bacteriológico da qualidade da água, ao fornecer informações adicionais sobre eventuais falhas na desinfecção, colonização e formação de biofilmes no sistema de distribuição, além de alterações na qualidade da água na reservação ou possível não integridade do sistema de distribuição (BRASIL, 2006c).

4.0 . SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DA CIDADE DE AREIA – PB

Na cidade de Areia, como também em mais 184 municípios paraibanos, a Companhia de Água e Esgotos da Paraíba é responsável pela administração, captação, tratamento e distribuição de água. Para facilitar o atendimento aos municípios, foram criadas gerências regionais localizadas em diferentes regiões do estado. A cidade de Areia está inserida na Gerência Regional da Borborema situada na cidade de Campina Grande.

A cidade de Areia ($6^{\circ}57'30''\text{S}$ e $35^{\circ}41'30''\text{W}$) está localizada na mesorregião do Agreste Paraibano, mais precisamente na microrregião do Brejo Paraibano, cuja sede municipal está situada a 618 m acima do nível do mar, apresentando temperatura média anual de 22°C e uma precipitação pluviométrica anual de 800 a 1600 mm (Figura 4.1). De acordo a coordenação local do IBGE situada na cidade de Areia, o município possui uma área de $269,4 \text{ km}^2$, com uma população total de 24992 habitantes e uma densidade demográfica de 93 hab/km^2 . Do número total de habitantes 14037 residem na zona urbana e 89,97% dessa população são beneficiados com rede de abastecimento de água, 65,60% são beneficiados com sistema de esgotamento sanitário e 85,98% são beneficiados por sistema de coleta de lixo.

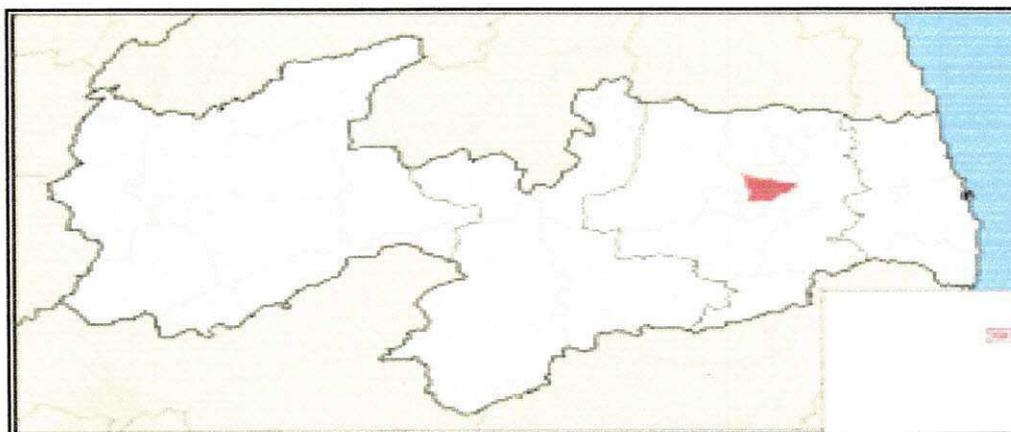


Figura 4.1 - Localização geográfica da cidade de Areia – PB.

O sistema de abastecimento da cidade de Areia possui duas Estações de Tratamento de Água (ETA):

- Estação de Tratamento de Água da Barragem Rio do Canto (ETA – Rio do Canto): responsável pelo tratamento da água proveniente da barragem de regularização do

- Estação de Tratamento de Água Mazagão (ETA – Mazagão): responsável pelo tratamento da água proveniente da barragem de regularização do riacho perene denominado “Mazagão”.

A ETA – Rio do Canto foi construída na década de 1950, estando localizada a 2 km da sede do município de Areia. Na ETA, a água bruta recebe o tratamento de coagulação – floculação e decantação e, após a decantação, a água é enviada para um reservatório semi-enterrado (Figura 4.2), com capacidade para 150 m³, situado à Rua São Miguel, Bairro Pedro Perazzo, através de duas adutoras de ferro fundido com diâmetros de 125 e 150 mm. Chegando ao local, a água passa pelo processo de filtração (com filtros de pressão) e desinfecção, sendo utilizado o cloro gasoso como agente desinfetante; a partir daí, a água é enviada para o reservatório de compensação (Figura 4.3), com capacidade de 150 m³, situado à Rua Epitácio Pessoa e, posteriormente, é distribuída para a população. A vazão desse sistema é de 100 m³/h.

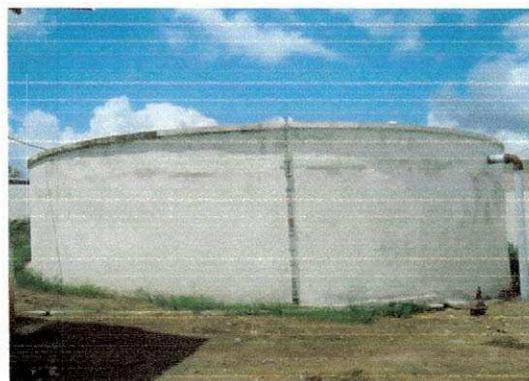


Figura 4.2 - Reservatório semi – enterrado da ETA – Rio do Canto.

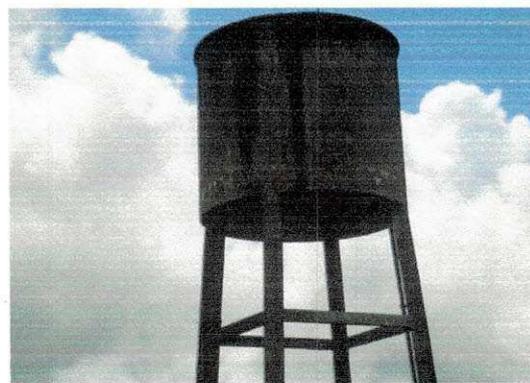


Figura 4.3 - Reservatório de compensação do sistema de abastecimento de água.

Com a poluição do manancial provocada pelos dejetos do matadouro público da cidade e do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba (antiga Escola de Agronomia do Nordeste), com despejos dos laboratórios e agrotóxicos oriundos das pesquisas

realizadas nesse centro, além da vazão limitada do Rio do Canto, foi construída uma barragem para regularização de nível no riacho perene sendo denominada Mazagão 1. Com isso, em 1985 foi inaugurada a ETA – Mazagão para suprir o abastecimento de água para a população, sendo, naquele momento, desativada a ETA – Rio do Canto. Para complementar a vazão da Barragem Mazagão, foi construída outra barragem de regularização de nível sendo denominado Mazagão – 2, o qual tem uma vazão estimada de $216 \text{ m}^3/\text{h}$, sendo utilizado em períodos críticos de estiagem. Porém, devido á grande demanda de água foi necessária a reativação da ETA – Rio do Canto e também uma reforma na ETA – Mazagão (em 2006), tendo sido feita a ampliação dos decantadores e a construção de seis filtros.

A ETA – Mazagão está localizada à Rua Floriano Peixoto, Bairro da Jussara, sendo responsável pelo tratamento da água proveniente da barragem de regularização de nível construída no riacho Mazagão, localizado na Fazenda Mazagão, situada a aproximadamente 4 km da sede do município. A água bruta passa por dois recalques, através de conjuntos motor-bomba até chegar à ETA, sendo transportada por duas adutoras de ferro fundido de 200 mm de diâmetro e 4 km de extensão. Na ETA, a água recebe o tratamento convencional, passando por dosadores químicos (cal e sulfato de alumínio), flocladores, decantadores, filtros e cloradores; após o tratamento, a água é armazenada em um reservatório enterrado (Figura 4.4) e, posteriormente, é bombeada para distribuição em marcha até o reservatório de compensação mencionado anteriormente. A vazão desse sistema é de $164 \text{ m}^3/\text{h}$.

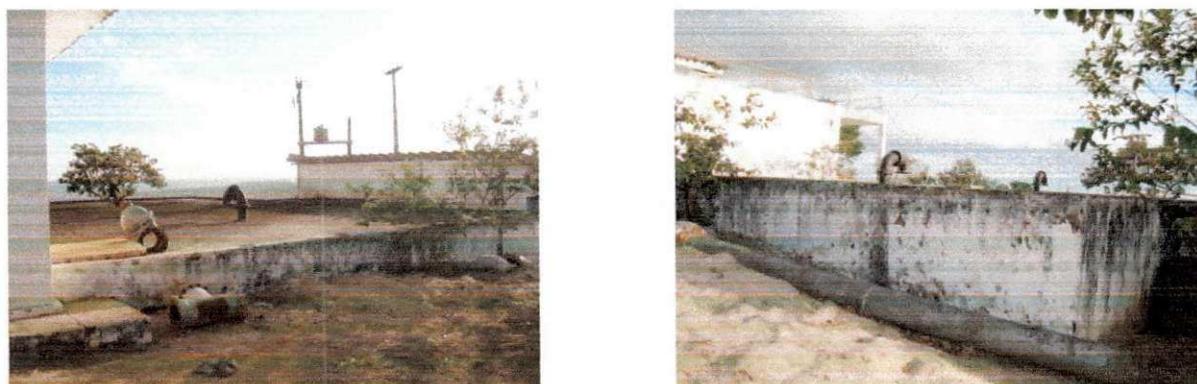


Figura 4.4 - Reservatório enterrado da ETA – Mazagão.

Atualmente, o sistema de abastecimento de água da cidade de Areia (Figura 4.5), trabalha sob um regime intermitente, sendo que a ETA – Mazagão funciona de 6 às 14 horas e a ETA – Rio do Canto funciona de 10 às 22 horas.

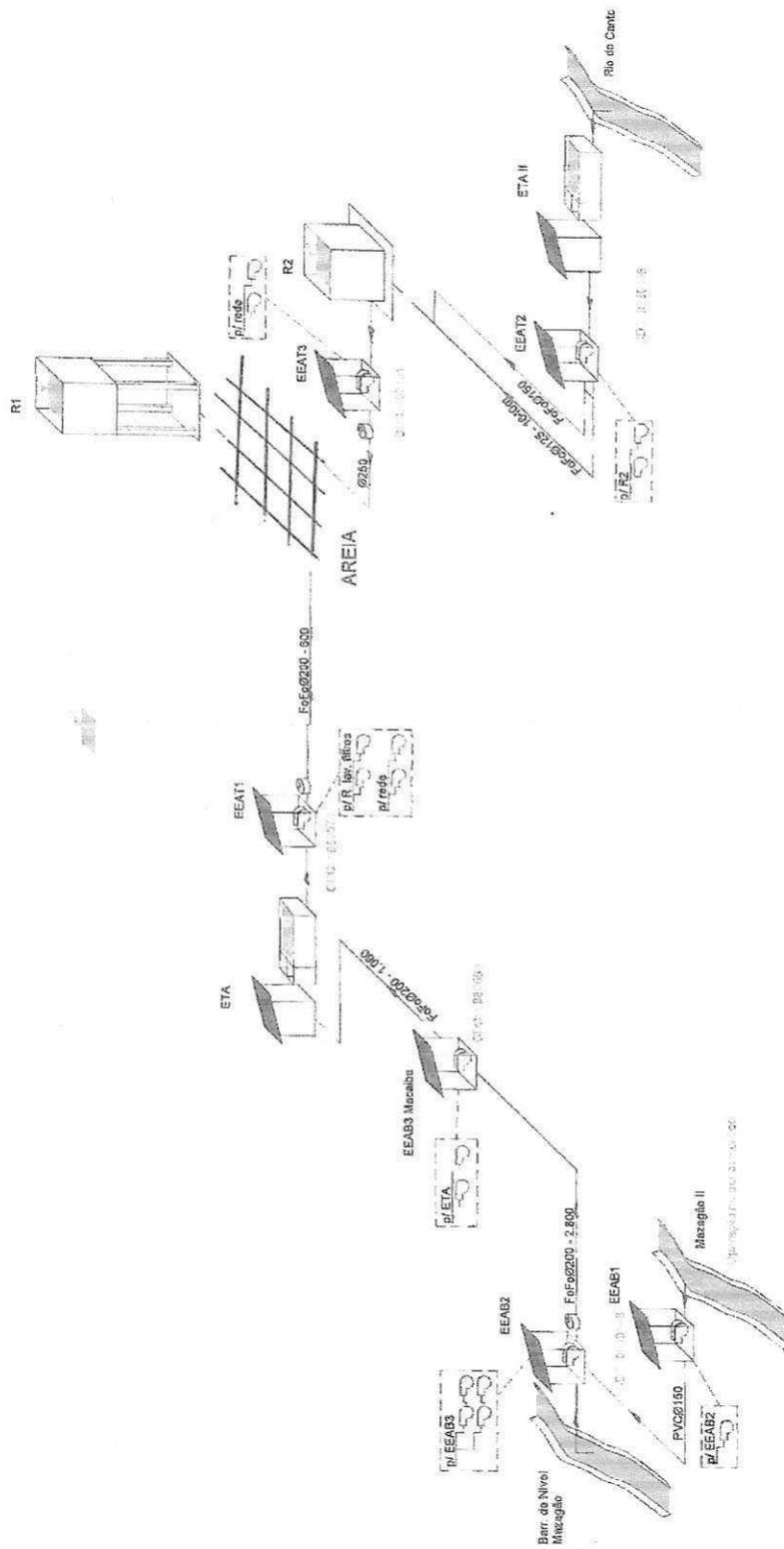


Figura 4.5 - Sistema de distribuição de água da cidade de Areia – PB.

O abastecimento de água de Areia é feito através de uma rede de distribuição de aproximadamente 10,3 km de extensão, possuindo 3327 ligações funcionando efetivamente. A Tabela 4.1 discrimina a rede de distribuição de água da cidade de Areia, em relação às suas dimensões e ao tipo de material.

Tabela 4.1 – Dimensões e tipo de material utilizado na rede de distribuição de água da cidade de Areia – PB.

Diâmetro (mm)	Extensão (m)	Tipo de Material
50	620	CA (Cimento Amianto)
60	3725	PVC
75	3550	fºfº (Ferro Fundido)
75	690	PVC
100	820	fºfº (Ferro Fundido)
200	710	fºfº (Ferro Fundido)
250	240	fºfº (Ferro Fundido)

Fonte: Dados fornecidos pelo setor de cadastro da CAGEPA.

O sistema de distribuição de água da cidade possui ainda seis estações elevatórias. A ETA – Rio do Canto possui duas estações elevatórias de água tratada (EEAT):

- EEAT1: eleva a água da ETA – Rio do Canto até o reservatório semi – enterrado situado à Rua São Miguel, através de duas adutoras de ferro fundido de 1840 m de extensão, uma delas com 125 mm de diâmetro e a outra com 150 mm.
- EEAT2: eleva a água desse ponto até o reservatório elevado situada à Rua Epitácio Pessoa, através de uma adutora de ferro fundido com 250 mm de diâmetro. Obs.: não foi encontrada a extensão da adutora no setor de cadastro da Companhia.

A ETA – Mazagão possui três estações elevatórias de água bruta (EEAB) e uma de água tratada (EEAT):

- EEAB1: eleva a água bruta da barragem de nível Mazagão 2 para EEAB2, através de uma adutora de PVC com 150 mm de diâmetro. Obs.: a extensão da adutora não foi especificada no setor de cadastro da Companhia;
- EEAB2: eleva a água bruta da barragem Mazagão 1 até a EEAB3 situada na Fazenda Macaíba, através de uma adutora de ferro fundido de 200 mm de diâmetro e 2800 m de extensão;

- EEAB3: eleva a água proveniente da EEAB2 da Fazenda Macaíba até a ETA – Mazagão, através de uma adutora de ferro fundido de 200 mm e 1060 m de extensão;
- EEAT: eleva a água tratada na ETA – Mazagão até o reservatório de compensação, através de uma adutora de ferro fundido de 200 mm de diâmetro. Obs.: a extensão da adutora não foi especificada no setor de cadastro da Companhia;

Nas Tabelas 4.2 e 4.3 são mostradas as características dos conjuntos motor-bomba instalados nas estações elevatórias do sistema de abastecimento da cidade de Areia.

Tabela 4.2 - Características do conjunto elevatório instalado nas estações elevatórias de água bruta da ETA – Mazagão.

CARACTERÍSTICAS DA BOMBA		DADOS DE PROJETO	
Tipo (Marca)	KSB	Potência da bomba (P)	100 CV
Modelo	RDL 150 - 500	Vazão de recalque (Q_R)	163 m ³ /h
Nº. de bombas	6	Altura manométrica total (H_T)	*
Nº. de rotores	*	Altura geométrica (H_g)	*
Diâmetro dos rotores	*	Perda de carga total (ΔH_T)	*
Rotação	3500rpm	Diâmetro de sucção (D_S)	300 mm
Configuração do sistema	Paralelo e em série	Diâmetro de recalque (D_r)	200 mm
Rendimento da bomba	*	Comprimento da linha de recalque (L)	3860 m
Nº de horas de funcionamento	24 horas	Material da tubulação	Ferro fundido

Fonte: Dados fornecidos pelo setor de cadastro da CAGEPA

* Dados não localizados nesse setor.

Tabela 4.3 - Características do conjunto elevatório instalado nas estações elevatórias de água bruta da ETA – Rio do Canto.

CARACTERÍSTICAS DA BOMBA		DADOS DE PROJETO	
Tipo (Marca)	WORTHINGTON	Potência da bomba (P)	100 CV
Modelo	3 DBE - 133	Vazão de recalque (Q_R)	98 m ³ /h
Nº. de bombas	2	Altura manométrica total (H_T)	*
Nº. de rotores	*	Altura geométrica (H_g)	*
Diâmetro dos rotores	*	Perda de carga total (ΔH_T)	*
Rotação	3500rpm	Diâmetro de sucção (D_S)	250 mm
Configuração do sistema	*	Diâmetro de recalque (D_r)	150 mm
Rendimento da bomba	*	Comprimento da linha de recalque (L)	1840 m
Nº de horas de funcionamento	24 horas	Material da tubulação	Ferro fundido

Fonte: Dados fornecidos pelo setor de cadastro da CAGEPA

* Dados não localizados nesse setor.

5.0 MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 Área de Estudo e Pontos de Coleta

A pesquisa contempla o estudo da qualidade da água distribuída pelo sistema de abastecimento de água da cidade de Areia caracterizado anteriormente, através da análise de parâmetros físicos, químicos e microbiológicos.

Inicialmente, foi realizado um estudo na área através de mapas da região (Figura 5.1). Os pontos de coleta das amostras foram definidos levando-se em consideração as recomendações preconizadas na publicação do Ministério da Saúde “Diretriz Nacional do Plano de Amostragem da Vigilância em Saúde Ambiental relacionada à qualidade da água para consumo humano”, a qual estabelece que esses devem se escolhidos de acordo com alguns critérios como distribuição geográfica (pontas de rede e zonas de diferentes altitudes) e locais estratégicos (áreas vulneráveis e que abastecem grande número de pessoas, ou que sejam sujeitas a interrupções no fornecimento de água). Diante dessas premissas, foram escolhidos cinco pontos de coleta para análise da qualidade da água de abastecimento da cidade de Areia.

Dos pontos de coleta escolhidos para realização da pesquisa quatro deles apresentam grande movimentação de pessoas, sendo um hospital e três estabelecimentos de ensino (um desses está situado na ponta da rede de distribuição de água); o outro ponto de coleta escolhido corresponde a uma casa situada na zona alta da cidade e que está sujeita a interrupções diárias no abastecimento de água. Os pontos de coleta são descritos a seguir:

- **Ponto 1:** localizado na Escola Municipal de Ensino Fundamental José Rodrigues, Rua Tito Silva, Bairro Frei Damião, Areia.**
- **Ponto 2:** localizado em uma casa da Rua Prefeito Manoel de Azevedo Maia, Centro, Areia.*
- **Ponto 3:** localizado no Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba, situada na Cidade Universitária, Areia. **
- **Ponto 4:** localizado no Hospital Municipal Hercílio Rodrigues, Rua da Gameleira, Centro, Areia.
- **Ponto 5:** localizado na Escola Estadual de Ensino Fundamental Monsenhor João Coutinho, Rua Manoel da Silva, Centro, Areia.

Obs.: * Ponto sujeito a interrupções diárias no fornecimento de água.

**Ponta da rede de distribuição.

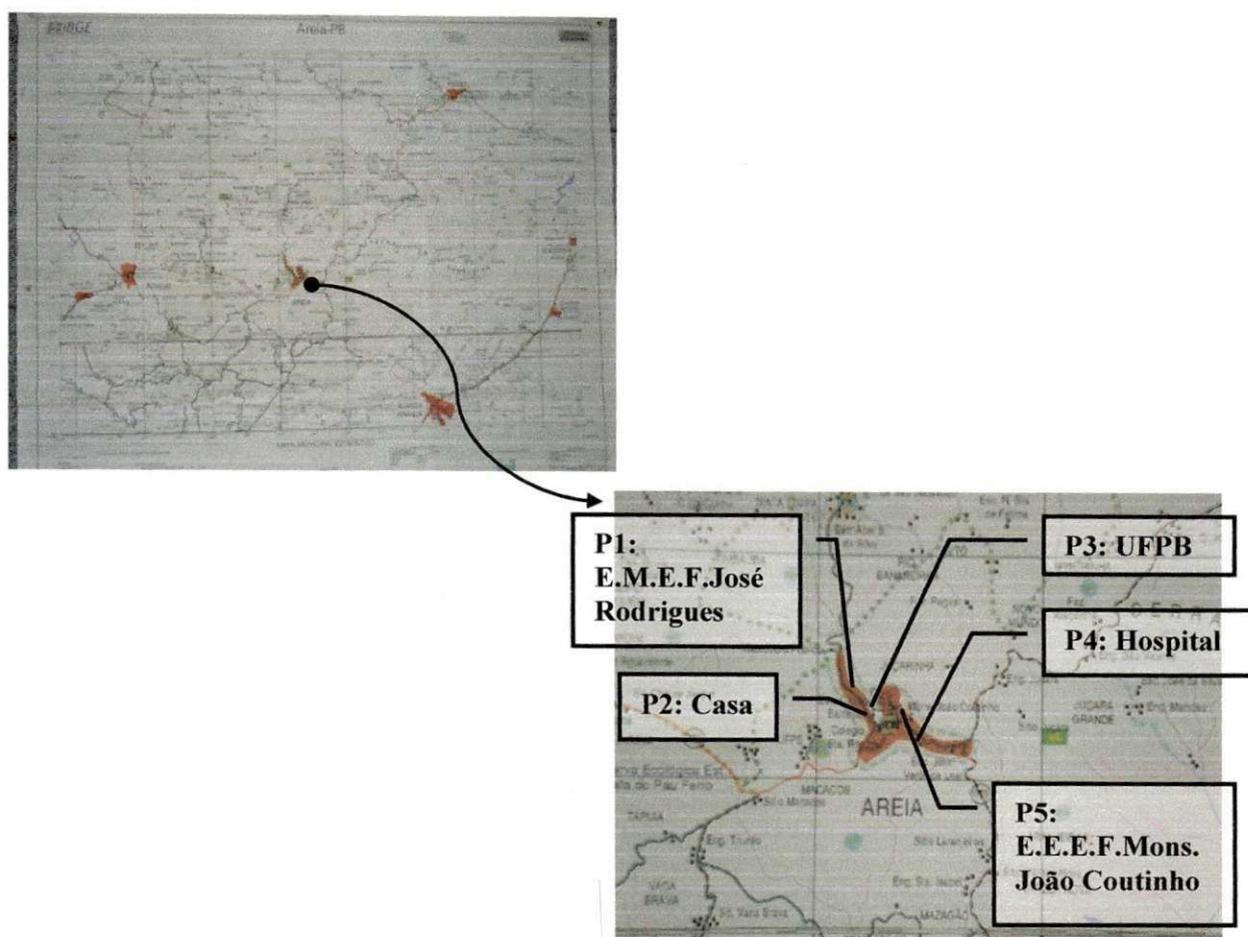


Figura 5.1 – Mapa da cidade de Areia (IBGE) e localização dos pontos de coleta.

5.2 Metodologia de Amostragem

Os pontos de coleta foram analisados inicialmente a cada duas semanas em dias variados; posteriormente, com o intuito de completar vinte e cinco semanas de amostragem, esse intervalo entre as análises foi diminuído e, conseqüentemente, as amostragens foram feitas semanalmente, em dias distintos, durante o período de março a dezembro de 2009.

Para monitorar o sistema de abastecimento, foram realizadas análises três vezes ao dia, em cada ponto, nos seguintes horários:

- 7h: coleta de amostras representativas do início do abastecimento;
- 11h30min: coleta de amostras representativas do período de maior consumo de água no sistema de distribuição;
- 16h30min: coleta de amostras representativas do final do ciclo diurno e início do ciclo noturno de abastecimento.

Obs.: Devido às interrupções no sistema de distribuição de água, em alguns pontos, durante o período de amostragem, esses horários foram modificados de acordo com as manobras utilizadas no sistema.

Obs.: Em todos os pontos, as coletas de amostras foram realizadas em torneiras ligadas diretamente à rede de distribuição.

As coletas foram realizadas manualmente, seguindo as recomendações de APHA, AWWA, WPCF (1999).

Para a análise dos indicadores microbiológicos, antes da coleta das amostras, a torneira era esterilizada com álcool 70% e, posteriormente, efetuava-se uma descarga na torneira de dois a três minutos; feito isso, as amostras eram coletadas em frascos previamente esterilizados e encaminhadas, sob refrigeração, ao Laboratório de Biotecnologia do Solo do Centro de Ciências Agrárias – UFPB para serem analisadas.

Em relação aos indicadores físico-químicos, antes da coleta, realizava-se uma descarga de dois a três minutos na torneira e, posteriormente, as amostras eram coletadas utilizando-se um frasco escuro, com capacidade de 1,5 L, previamente limpos. Os indicadores pH, turbidez, temperatura e cloro residual (livre e combinado) foram analisados *in loco* – Laboratório Itinerante – devido à instabilidade do cloro e da inadequação de qualquer procedimento de preservação das amostras coletadas.

5.3 Indicadores Analisados

Foram analisados os indicadores físico-químicos (pH, cloro residual, turbidez e temperatura) e microbiológicos (coliformes totais, *E.coli* e bactérias heterotróficas) na água de abastecimento.

5.4 Métodos Analíticos

Os métodos analíticos utilizados na pesquisa seguiram as recomendações do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, AWWA, WPCF, 1999).

5.4.1 Potencial hidrogeniônico (pH)

O pH foi determinado pelo método potenciométrico, com o auxílio de um pHmetro portátil, calibrado com soluções tampões pH 4 e 7. Após a calibração do aparelho, foram utilizadas alíquotas de 50 mL da amostra, em triplicata, para obtenção de leituras diretas.

5.4.2 Turbidez

A turbidez foi determinada através do método nefelométrico com a utilização de um turbidímetro portátil calibrado com soluções padrões de turbidez, provido de lâmpada de tungstênio. Após a calibração, foram utilizadas alíquotas de aproximadamente 50 mL da amostra, em triplicata, para a leitura direta da turbidez da água analisada.

5.4.3 Temperatura

A temperatura foi determinada com o auxílio de um termômetro de filamento de mercúrio, escala de 0 a 60°C.

5.4.4 Cloro residual (Livre - CRL e Combinado - CRC)

Para a determinação do cloro residual foi utilizado o método titulométrico DPD - SFA. Nesse método as espécies de cloro residual são determinadas por titulação com sulfato ferroso amoniacal (SFA) usando oxalato ou sulfato de N,N - dietil - p - fenilenediamina (DPD) como indicador. O procedimento de execução da análise foi descrito por Silva e Oliveira (2001).

5.4.5 Indicadores microbiológicos

Coliformes totais e *Escherichia coli*

Para a determinação das bactérias do grupo coliforme utilizou-se a técnica de tubos múltiplos com meios de fermentação da lactose. A técnica engloba um teste presuntivo e um teste confirmativo para as bactérias do grupo coliforme.

- **Teste Presuntivo:**

No teste presuntivo utilizou-se uma alíquota de 1 mL da amostra (diluição 10^0), que foi inoculada em uma série de três tubos de ensaio, com Duhran invertido, contendo 9 mL de caldo Lauryl Sulfato Triptose; a segunda série de três tubos foi inoculada com a diluição 10^{-1} (esta diluição foi preparada a partir da diluição 10^0); e a terceira série de três tubos foi inoculada com a diluição 10^{-2} (esta diluição foi preparada a partir da diluição 10^{-1}), perfazendo um total de nove tubos para cada amostra com três diluições diferentes. Em seguida, foi feita a incubação a 35°C por 24-48h. Observado o crescimento microbiano caracterizado pela produção de gás, foi efetuada a segunda etapa da técnica que consiste no teste confirmativo de Coliformes (totais e *Escherichia coli*).

- **Teste confirmativo de Coliformes Totais:**

O teste confirmativo de coliformes totais utiliza o caldo Verde Brilhante Bile (VB) a 2%, onde uma alíquota dos tubos considerados positivos, em cada diluição, no teste presuntivo é inoculada em tubos de ensaio, com Duhran, contendo caldo VB. Posteriormente, os tubos são incubados a 35°C por 24-48h e, caso haja o crescimento caracterizado pela fermentação e produção de gás, é procedido o teste confirmativo de *E. coli*. Os resultados são expressos em números mais prováveis (NMP/100mL).

- **Teste confirmativo de *E. coli*:**

O teste confirmativo de *E. coli*, utiliza uma alíquota transferida dos tubos positivos do teste confirmativo de coliformes totais, para tubos de ensaio, com Duhran, contendo caldo *E. coli* (EC), os quais serão incubados a $44,5^\circ\text{C}$ por 24h, observando-se se há crescimento caracterizado pela formação de gás. Os resultados são expressos em números mais prováveis (NMP/100 mL).

Bactérias heterotróficas

Para determinação das bactérias heterotróficas foi utilizado o método de plaqueamento em profundidade (“Pour Plate”), utilizando meio PCA (Plate Count Agar) e os resultados expressos em unidades formadoras de colônia por mililitro (UFC/mL). Para

execução desse método, foram preparadas diluições das amostras até a obtenção de placas com no máximo 300 colônias. Na execução desse trabalho foram utilizadas as diluições 10^{-1} , 10^{-2} e 10^{-3} , em triplicata. A técnica indica que deve ser inoculada uma alíquota de 1 mL da amostra em aproximadamente 12 mL do meio PCA; a alíquota de cada diluição é transferida para placas de petri previamente esterilizadas, e, ao mesmo tempo, é adicionado o meio de cultura previamente fundido e resfriado a 44-46°C. Feita a inoculação as amostras são homogeneizadas antes que o meio se solidifique. Posteriormente, as placas são invertidas e incubadas a 35°C durante 24 – 48h. As leituras foram feitas em um contador de colônias e os resultados expressos em Unidades Formadoras de Colônias por mL (UFC/mL).

5.5 Análise Estatística

Inicialmente o conjunto de dados amostrais foi submetido à análise estatística descritiva onde foram estimadas as medidas de tendência central, de dispersão e de forma. As medidas de tendência central determinadas foram média e mediana, as medidas de dispersão foram amplitude (valor máximo e valor mínimo), quartis, desvio padrão e variância e as medidas de forma foram curtose e assimetria. O método gráfico BOX PLOT foi aplicado para visualizar a distribuição do conjunto de dados com base nos parâmetros descritivos, quais sejam: a mediana, o primeiro e o terceiro quartil, e os valores máximo e mínimo.

Para dar informação do todo, com base no conhecimento da amostra, foram aplicados métodos estatísticos de inferência. Em todos os testes empregados nas análises estatísticas, foi sempre considerado o nível de significância $\alpha = 0,05$. Como método estatístico de inferência foi aplicada a análise de variância (ANOVA) que permite testar se duas ou mais médias amostrais são ou não oriundas de populações com a mesma média paramétrica, com base na existência de diferença significativa entre elas. Para a aplicação da ANOVA foram observados os pressupostos básicos (aleatoriedade, independência, normalidade e homogeneidade).

O método não paramétrico de Kolmogorov – Smirnov (KS) foi empregado na verificação do ajuste dos dados à distribuição normal, cuja estatística é baseada na maior diferença entre a distribuição de frequência observada (dos dados) e a distribuição de frequência normal num determinado nível de significância. No entanto, para as variáveis estudadas que não demonstraram normalidade foram aplicadas sucessivas transformações

para atingir a normalidade. O uso da transformação se fez necessário para induzir a normalidade, a aditividade e a homogeneidade das variâncias (SOKAL; ROHLF, 1995) na variável que, após a aplicação preliminar do teste de Kolmogorov-Smirnov, demonstrou não possuí-la.

Satisfeita a condição de normalidade foi realizada a análise de variância e, uma vez detectada a existência de diferenças significativas, surgiu a necessidade de serem identificadas as médias que diferiam dentro do conjunto. Para tanto, foi empregado o método GT-2 (modificado por Gabriel, 1978), que ilustra graficamente onde essas diferenças ocorreram. Este método apresenta a média e intervalos de comparação de um grupo de dados a um nível de significância pré-determinado e considera duas médias significativamente diferentes quando não ocorre interseção entre seus limites.

Nos procedimentos supracitados foram utilizados os fundamentos teóricos descritos por SOKAL e ROHLF (1995) e o programa estatístico SPSS for Windows, versão 13.0.

6.0 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

O número de análises realizadas durante a pesquisa variou nos três horários, em cada ponto, em virtude de alguns fatores que impossibilitaram a realização da análise naquele momento, como por exemplo, a falta de água no sistema de distribuição, ausência de funcionários no estabelecimento, falta de energia, etc. Na Tabela 6.1 é demonstrada a quantidade de análises realizadas nos diferentes horários, por ponto de coleta.

Tabela 6.1 – Quantidade de análises realizadas nos três horários em cada ponto de coleta.

Horário	Indicadores	P1	P2	P3	P4	P5
7h	pH	23	16	24	25	23
	Temperatura	23	16	24	25	23
	Turbidez	23	16	24	25	23
	CRL	23	16	24	25	23
	Monocloramina	23	16	24	25	23
	Dicloramina	23	16	24	25	23
	Tricloramina	23	16	24	25	23
	C. Totais	21	16	20	24	19
	<i>E. coli</i>	21	16	20	24	19
	B. heterotróficas	19	16	20	23	18
11h30min	pH	23	20	24	24	17
	Temperatura	23	20	24	24	17
	Turbidez	23	20	24	24	17
	CRL	23	20	24	24	17
	Monocloramina	23	20	24	24	17
	Dicloramina	23	20	24	24	17
	Tricloramina	23	20	24	24	17
	C. Totais	21	18	20	23	15
	<i>E. coli</i>	21	18	20	23	15
	B. heterotróficas	19	18	20	22	14
16h30min	pH	23	17	22	23	18
	Temperatura	23	17	22	23	18
	Turbidez	23	17	22	23	18
	CRL	23	17	22	23	18
	Monocloramina	23	17	22	23	18
	Dicloramina	23	17	22	23	18
	Tricloramina	23	17	22	23	18
	C. Totais	21	16	18	23	15
	<i>E. coli</i>	21	16	18	23	15
	B. heterotróficas	19	16	18	22	14

Na Tabela 6.2 são indicadas as freqüências de amostras analisadas em cada ponto de coleta, que atendem ou não o padrão de potabilidade estabelecido pela Portaria do Ministério da Saúde nº 518/2004.

Tabela 6.2 – Frequência (F) de amostras analisadas em cada ponto de coleta, que atendem ou não ao padrão de potabilidade estabelecido pela Portaria do Ministério da Saúde nº 518/2004.

Ponto	Padrão de Potabilidade	CRL		Monocloramina		pH		Turbidez		C.Totais		<i>E. coli</i>		B. Het.	
		N	F (%)	N	F (%)	N	F (%)	N	F (%)	N	F (%)	N	F (%)	N	F (%)
P1	Atende	25	36,2	68	98,6	22	31,9	37	53,6	62	98,4	62	98,4	60	100,0
	Não Atende	44	63,8	1	1,4	47	68,1	32	46,4	1	1,6	1	1,6	0	0
	Total	69	100,0	69	100,0	69	100,0	69	100,0	63	100,0	63	100,0	60	100,0
P2	Atende	18	34,0	53	100	13	24,5	32	60,4	50	100,0	50	100	50	100,0
	Não Atende	32	60,4	0	0	40	75,5	21	39,6	0	0	0	0	0	0
	Total	53	100,0	53	100,0	53	100,0	53	100,0	50	100	50	100,0	50	100,0
P3	Atende	44	62,9	70	100	27	38,6	30	42,9	58	100,0	58	100	58	100,0
	Não Atende	26	37,1	0	0	43	61,4	40	57,1	0	0	0	0	0	0
	Total	70	100,0	70	100,0	70	100,0	70	100,0	58	100	58	100,0	58	100,0
P4	Atende	24	33,8	69	97,2	21	29,2	55	76,4	70	100,0	70	100	67	100,0
	Não Atende	47	66,2	2	2,8	51	70,8	17	23,6	0	0	0	0	0	0
	Total	71	100,0	71	100,0	72	100,0	72	100,0	70	100	70	100,0	67	100,0
P5	Atende	27	46,6	57	98,3	17	29,3	28	48,3	49	100,0	49	100	48	100,0
	Não Atende	31	53,4	1	1,7	41	70,7	30	51,7	0	0	0	0	0	0
	Total	58	100,0	58	100,0	58	100,0	58	100,0	49	100,0	49	100,0	48	100,0

Nota: N é o tamanho amostral

6.1 Cloro residual

O cloro residual corresponde à soma das espécies de cloro livre e combinado (monocloramina, dicloramina e tricloramina), sendo que o cloro livre tem ação desinfetante maior que o combinado. Dentre os componentes do cloro combinado as dicloraminas têm maior efeito bactericida que as monocloraminas e as tricloraminas não apresentam efeito desinfetante (MEYER, 1994).

Os resultados da pesquisa foram submetidos à análise descritiva, possibilitando conhecer as concentrações médias e os desvios padrão das diferentes espécies de cloro residual, nos diferentes horários, em cada ponto de coleta (Tabela 6.3). Mediante essa análise, foi possível observar que P3 apresentou a menor concentração média de cloro residual livre, embora seja o único ponto que está de acordo com o padrão recomendado pela Portaria nº 518/2004 do Ministério da Saúde. Os demais apresentam concentrações médias acima do valor máximo de 2,0 mg Cl₂/L recomendado na referida Portaria.

O P5 apresentou maior desvio para o cloro residual livre, indicando uma dispersão grande dos dados em relação à média, ocasionando maior variabilidade das

concentrações de cloro livre nesse ponto. Esse comportamento pode estar associado às constantes interrupções no abastecimento de água nesse ponto, fato que não foi observado nos demais locais escolhidos para a pesquisa. As interrupções no sistema de abastecimento geram pressões negativas na rede de distribuição favorecendo a contaminação da água (COSTA et al., 2002), conseqüentemente, haverá maior consumo de cloro livre ocasionando uma diminuição na sua concentração.

Tabela 6.3 – Concentração média e desvio padrão das espécies de cloro residual, nos diferentes horários, em cada ponto de coleta.

Ponto	Espécies de cloro residual (mg Cl ₂ /L)							
	CRL		Monocloramina		Dicloramina		Tricloramina	
	Média	Desvio	Média	Desvio	Média	Desvio	Média	Desvio
P1	2,51	1,18	0,73	0,50	0,33	0,19	1,40	0,99
P2	2,57	1,09	0,59	0,30	0,29	0,09	1,16	0,64
P3	1,07	0,87	0,36	0,24	0,27	0,11	0,67	0,48
P4	2,76	1,11	0,90	0,70	0,33	0,22	1,70	0,28
P5	2,21	1,38	0,76	1,01	0,30	0,12	1,51	2,17

As Figuras 6.1 a 6.4. mostram os gráficos BOX PLOT ilustrativos da distribuição das concentrações de cloro residual livre, monocloramina, dicloramina e tricloramina, respectivamente, medidas nos cinco pontos de coleta nos três diferentes horários. No gráfico BOX PLOT de cloro livre (Figuras 6.1), é possível observar que, nos cinco pontos de coleta, nos três horários, a distribuição das concentrações é assimétrica. Em P5 as concentrações de CRL diminuíram do primeiro para o terceiro horário. Foi observada a existência de dados discrepantes (outliers) em P2, P4 e P5, nos demais pontos monitorados não foi verificada a existência de outliers. Ao comparar os três horários, nos diferentes pontos de coleta, foi possível observar que a concentração média de monocloramina (Figura 6.2) diminuiu no terceiro horário (16h30min), sendo verificado que em todos os pontos ocorreram dados discrepantes e a distribuição foi assimétrica. Em relação às concentrações de dicloramina (Figura 6.3) e tricloramina (Figura 6.4), não foi verificada a existência de outliers em P5, mas foi verificada distribuição assimétrica em todos os horários dos cinco pontos de coleta monitorados.

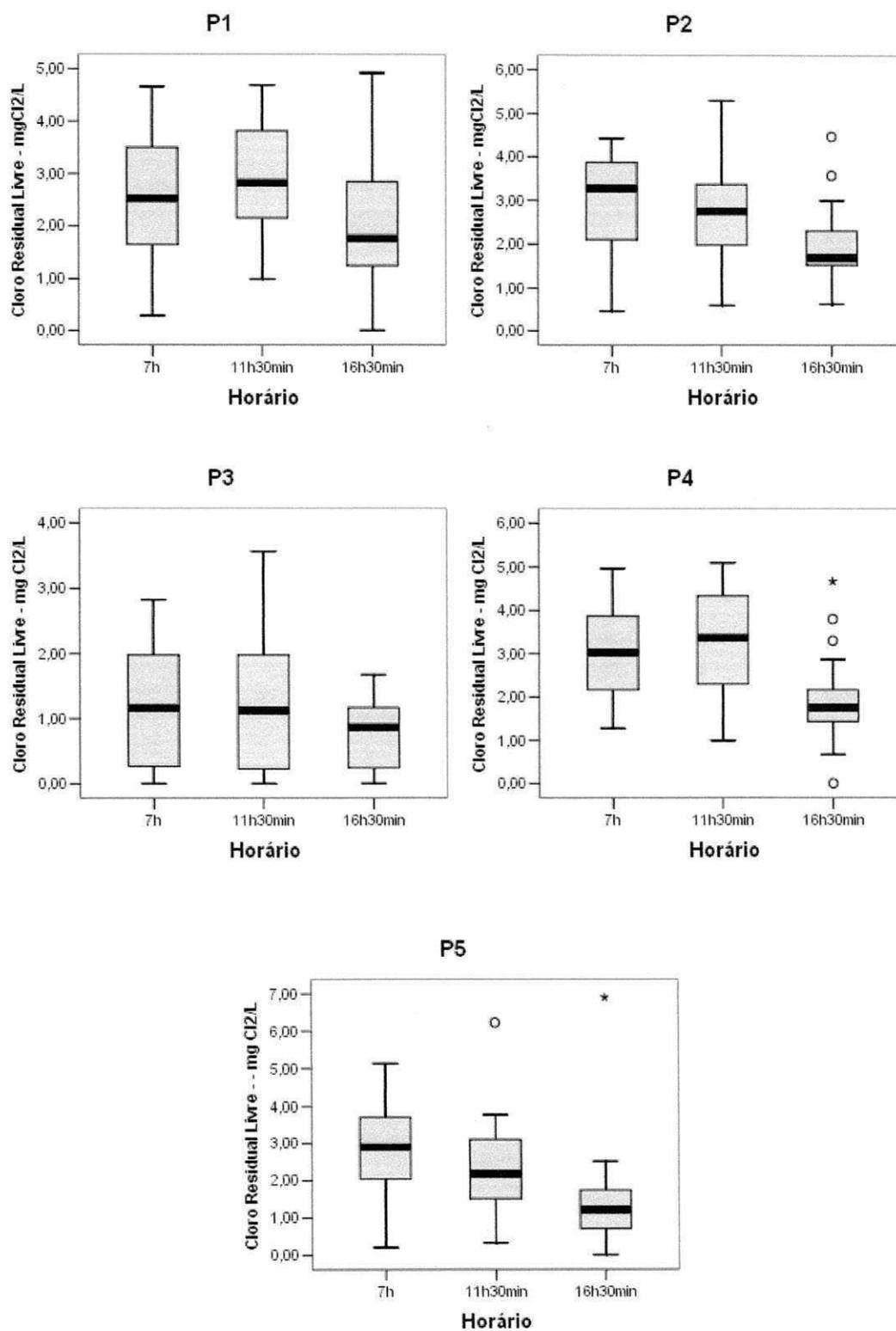


Figura 6.1. – Gráficos BOX PLOT de distribuição das concentrações de cloro residual livre, medidas nos três horários nos pontos de coleta.

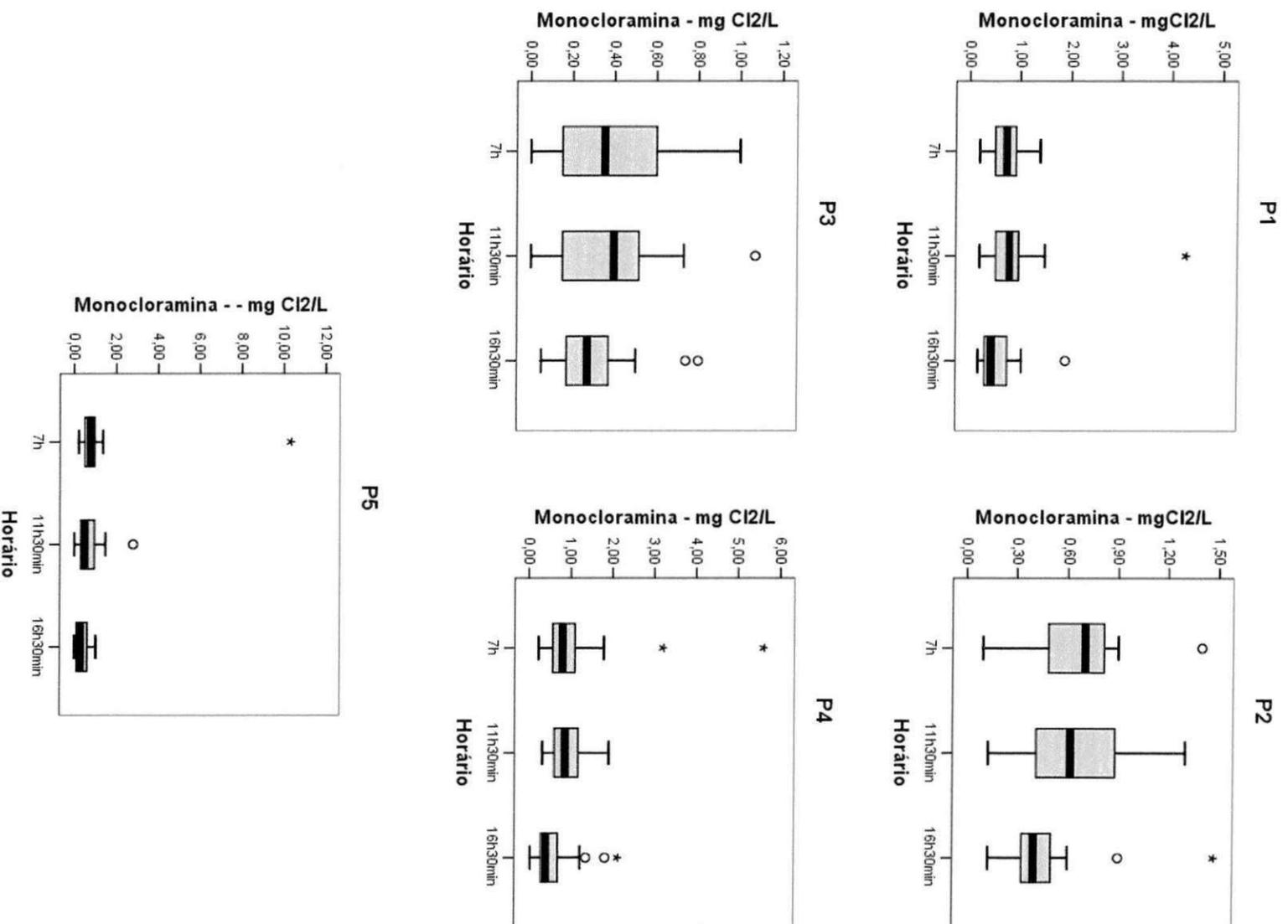


Figura 6.2 – Gráficos BOX PLOT de distribuição das concentrações de monocloramina, medidas nos três horários nos pontos de coleta.

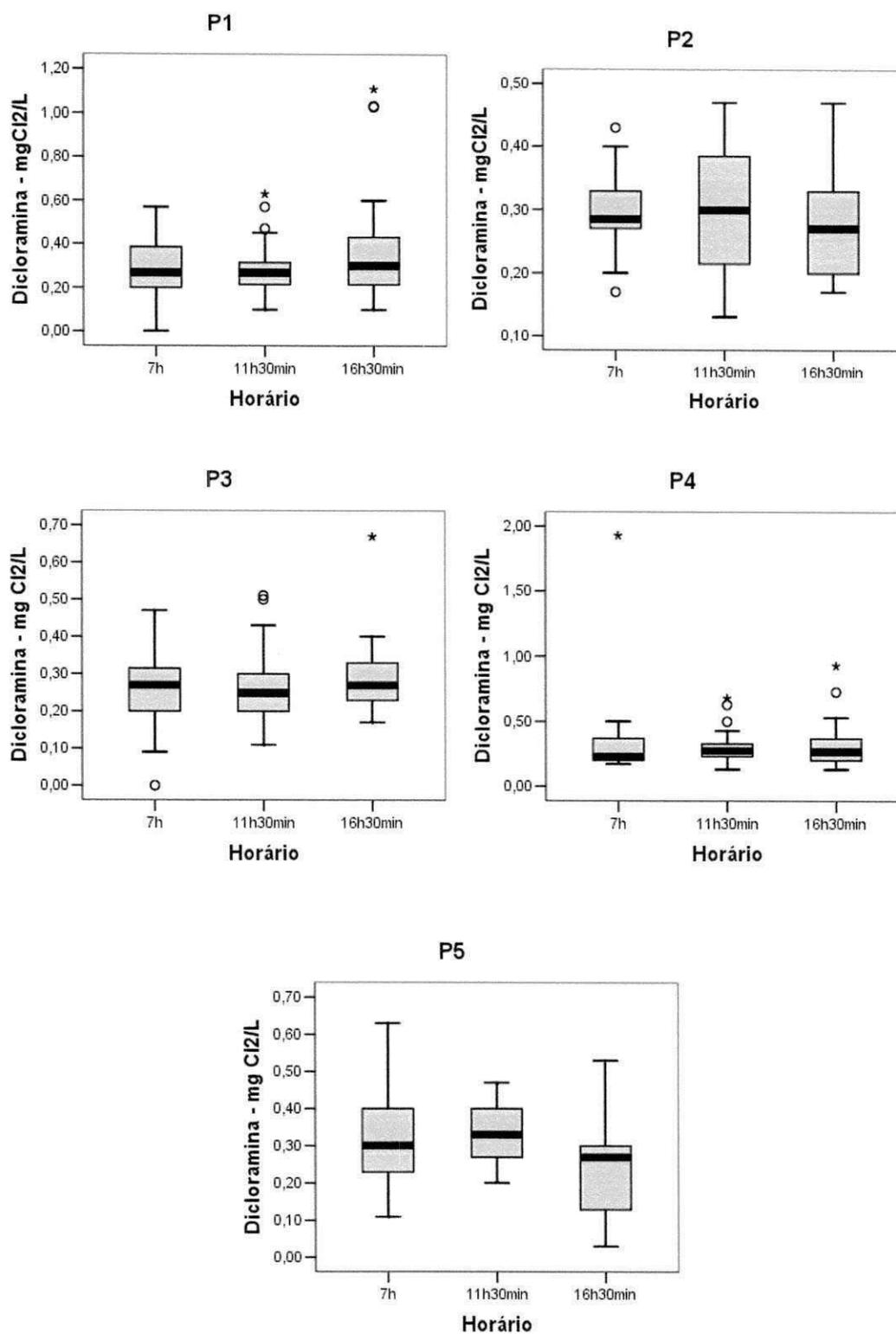


Figura 6.3 – Gráficos BOX PLOT de distribuição das concentrações de dicloramina, medidas nos três horários nos pontos de coleta.

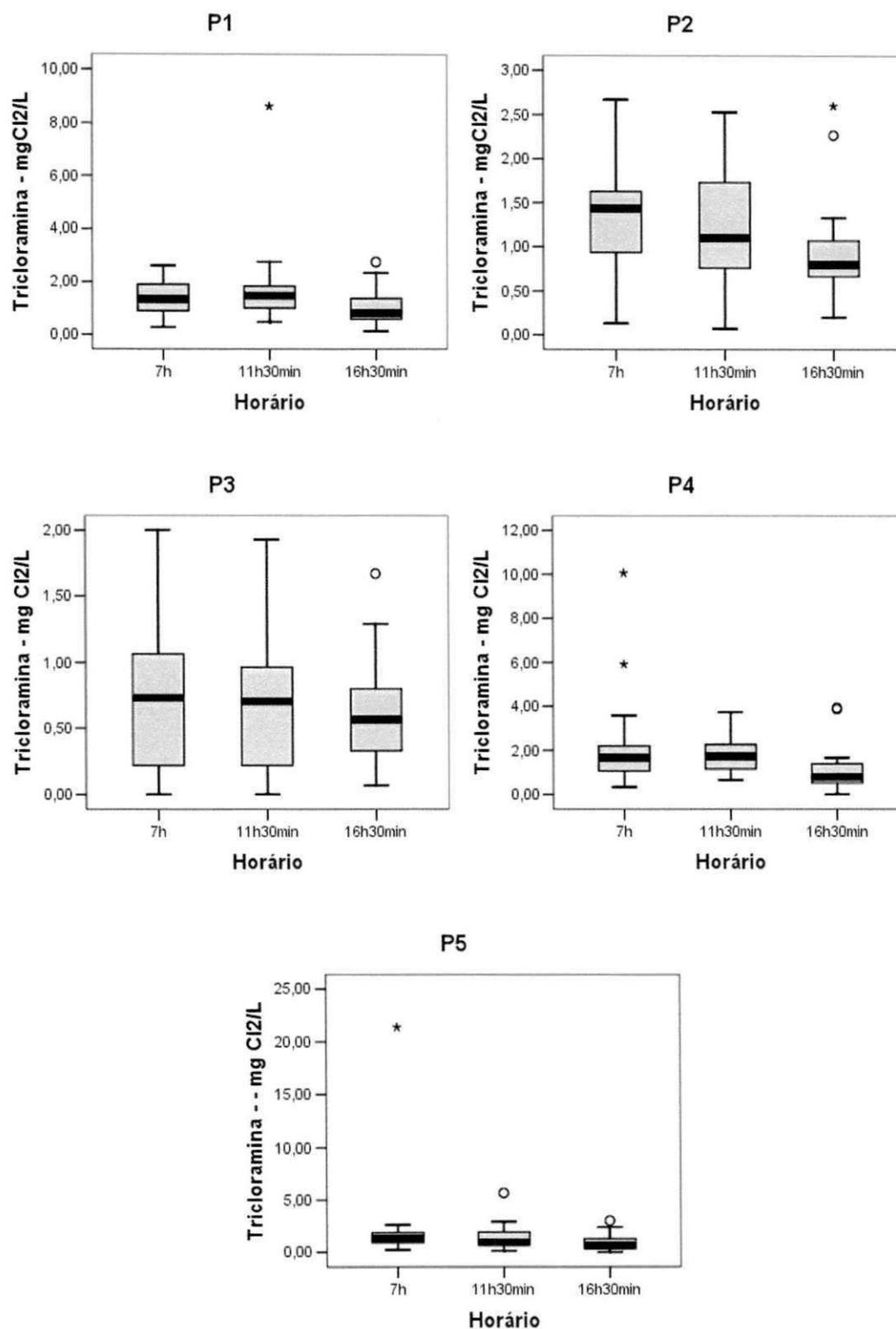


Figura 6.4 – Gráficos BOX PLOT de distribuição das concentrações de tricloramina, medidas nos três horários dos pontos de coleta.

Do total de cloro residual presente na água, maior parte correspondeu ao cloro residual livre, em todos os pontos de coleta, conforme Figura (6.5), que ilustra o percentual de cada espécie de cloro residual nos cinco pontos de coleta.

Em relação ao cloro residual combinado foi possível observar que a tricloramina apresentou maior concentração em todos os pontos analisados. Galdino (2009), analisando a água de distribuição de Campina Grande, verificou que maior parte da concentração do cloro residual presente na rede de distribuição, corresponde ao cloro residual combinado, particularmente a tricloramina, que apresenta baixo poder de desinfecção.

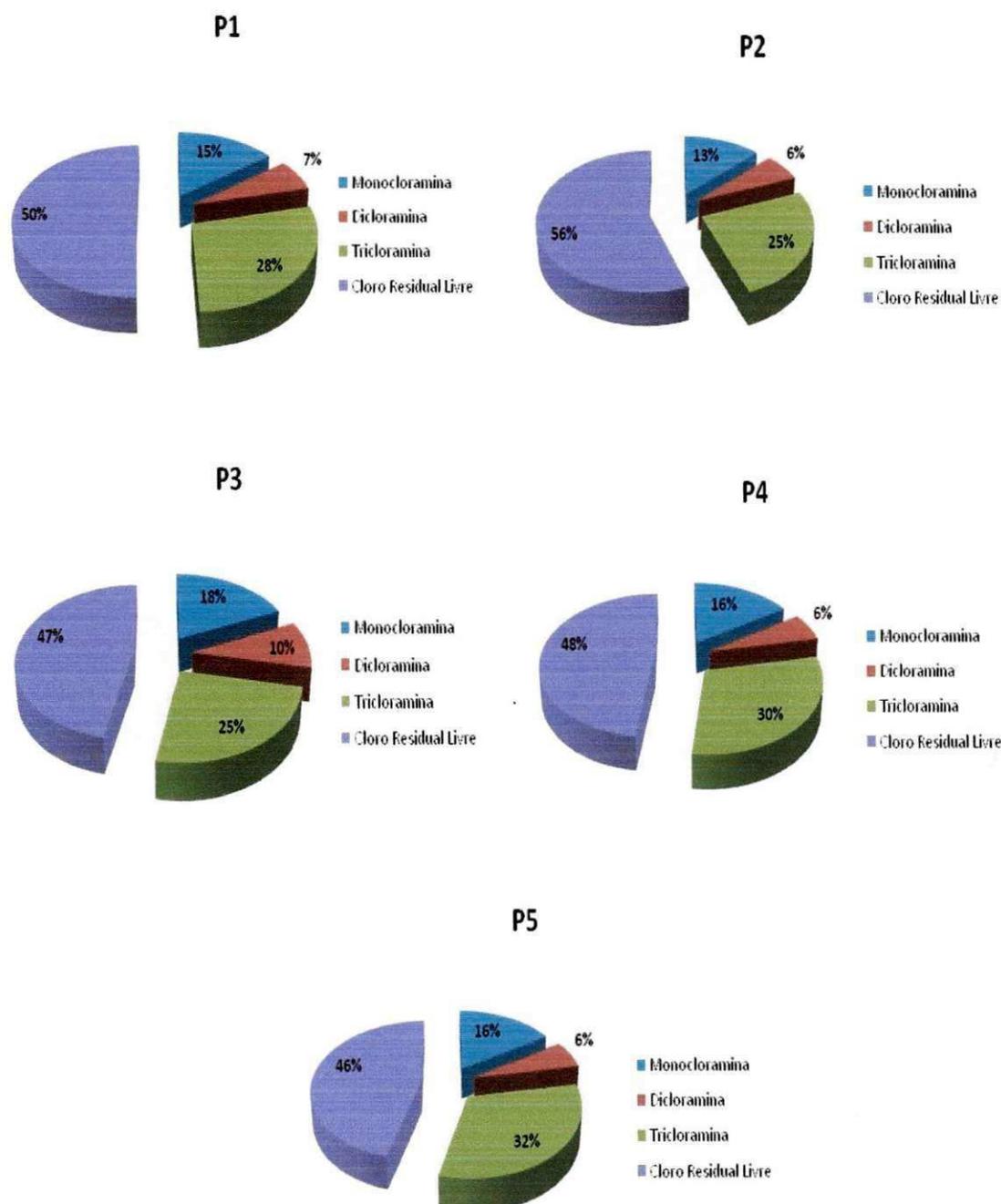


Figura 6.5 – Distribuição percentual das espécies de cloro residual nos pontos de coleta.

A Portaria MS 518/2004 recomenda que o valor máximo de cloro residual livre em qualquer ponto da rede de distribuição seja de 2,0 mg Cl₂/L; e o valor mínimo de 0,2 mg Cl₂/L. Com os resultados da pesquisa, foi constatado que, em todos os pontos de coleta, nos diferentes horários, ocorreu grande frequência de violações do padrão de potabilidade estabelecido na legislação. A Figura (6.6 e 6.7) ilustram a frequência de amostras, em cada horário dos diferentes pontos de coleta, em desacordo com o valor máximo (2,0 mg/L) e mínimo (0,2 mg/L) recomendados na Portaria (MS) 518/2004 para cloro residual livre. É possível observar em P1, P3, P4 e P5 foram observadas violações em relação aos valores máximo e mínimo recomendados na legislação. No P2 todas as violações (60,38%) referem-se ao valor máximo permitido.

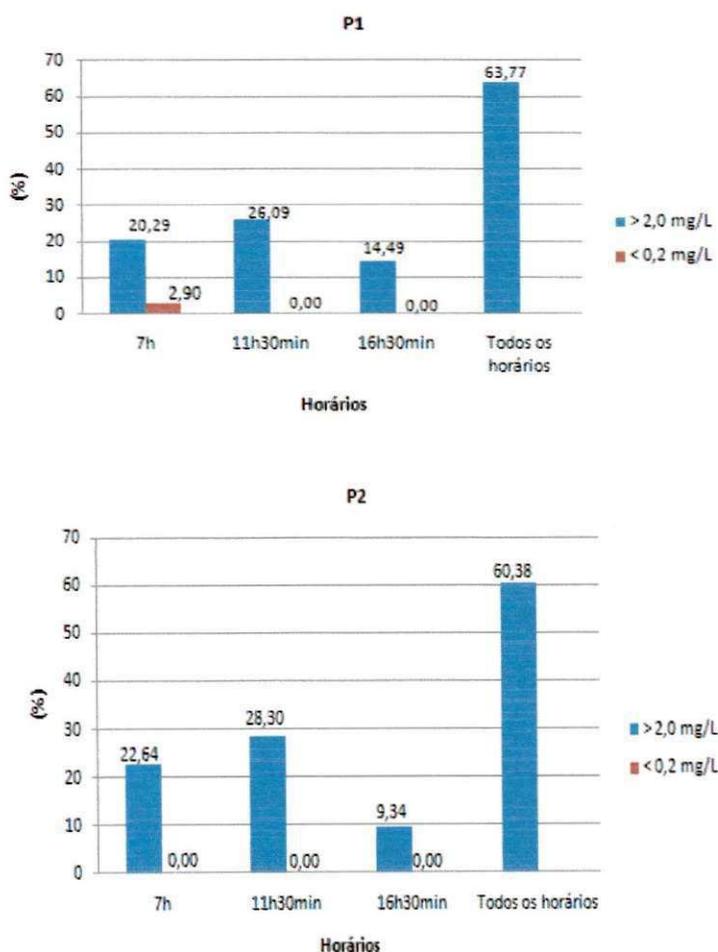


Figura 6.6 – Frequências de medidas de cloro residual livre, em cada horário nos pontos P1 e P2.

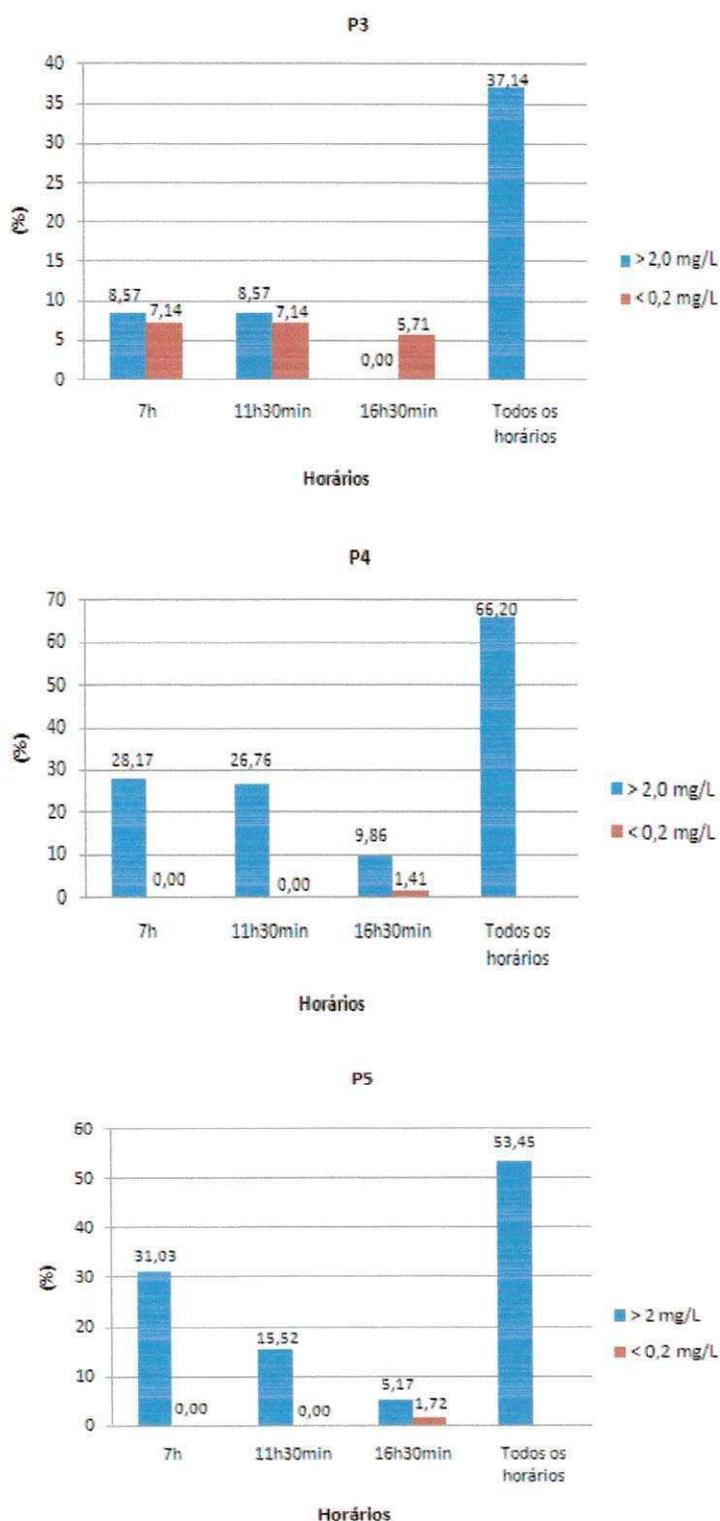


Figura 6.7 – Frequências de medidas de cloro residual livre, em cada horário nos pontos P3, P4 e P5.

De todos os pontos analisados o que apresentou a maior frequência de violações foi o P4, contrastando com o ponto P3 no qual foi observada, a menor frequência de violações.

A diferença na concentração de cloro e, conseqüentemente, na freqüência de violações, pode estar associada a aspectos de operação e manutenção “intuitiva” do sistema de abastecimento. Em visitas realizadas nas estações foi possível observar que os operadores aplicavam o cloro sem determinar a dosagem adequada, pois os mesmos não detêm essa informação.

Nas variações temporais de cloro residual livre, nos diferentes pontos de coleta, ilustradas nas Figuras 6.8 e 6.9, foi possível observar que, com exceção do P3, os demais pontos de coleta apresentaram em algumas amostras concentrações de cloro residual livre abaixo do valor mínimo pré-estabelecido pela legislação ao longo do período estudado. As menores concentrações de CRL do ponto P3 estiveram associadas a valores mais elevados de turbidez, corroborando com os resultados obtidos por Galdino (2009) que, ao avaliar indicadores sentinelas na água de abastecimento da cidade de Campina Grande – PB, verificou que o ponto com menor concentração de cloro residual livre apresentava turbidez mais elevada.

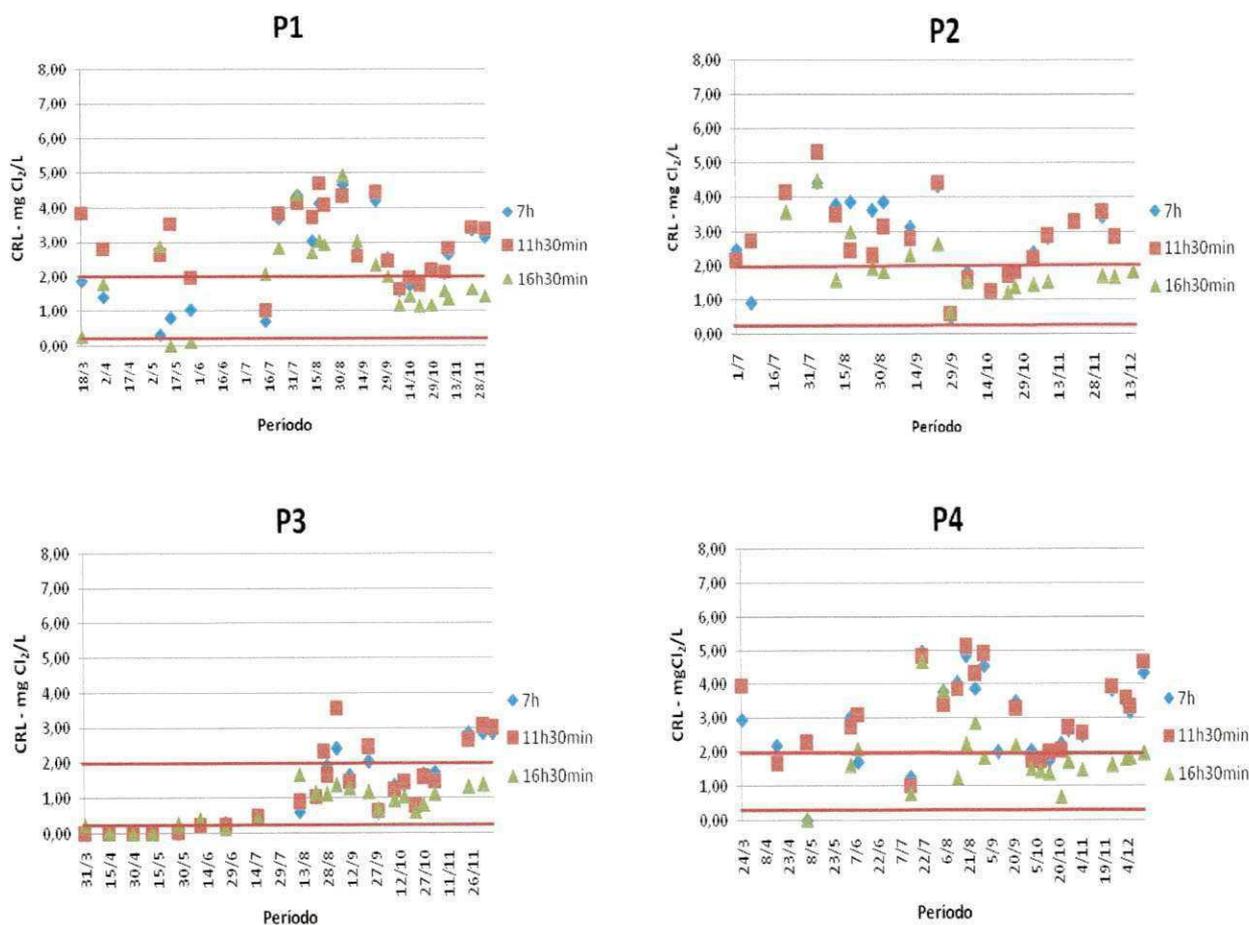


Figura 6.8 – Variação temporal do CRL, por horário, nos pontos de coleta P1, P2, P3 e P4.

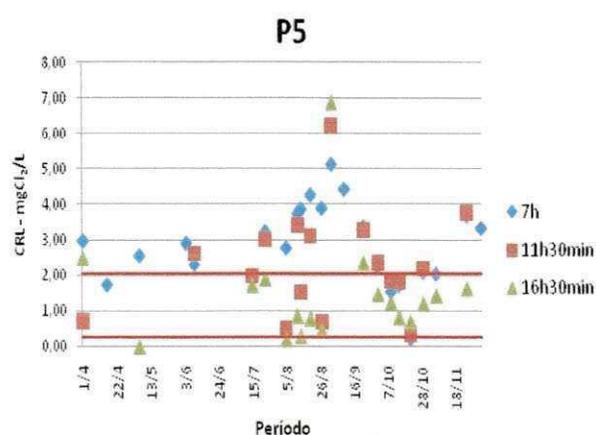


Figura 6.9 – Variação temporal do CRL, por horário, no ponto P5.

No P3, durante as primeiras doze semanas da pesquisa a concentração de cloro residual livre esteve abaixo do limite estabelecido pela legislação e isso representa um risco potencial à saúde, possibilitando a incidência de doenças veiculadas pela água, uma vez que deve ser mantido um residual mínimo de cloro para assegurar que a água não seja recontaminada por microrganismos patogênicos.

As Figuras 6.10 a 6.12 ilustram a variação temporal das espécies de cloro residual combinado (monocloramina, dicloramina e tricloramina), por horário, nos diferentes pontos de coleta. Foi verificado que em alguns horários, nos pontos P1, P3, P4 e P5, a concentração de monocloramina (Figura 6.10) excedeu o valor máximo de 3,0 mg/L estabelecido pela Portaria 518/2004 do Ministério da Saúde. Isso pode estar relacionado com a precipitação pluviométrica registrada na noite anterior à realização da análise, pois a chuva favorece o carreamento de materiais de origens diversas para dentro dos mananciais, os quais podem contribuir para o aumento da concentração de cloro residual combinado na rede de distribuição. Esses resultados estão de acordo com os de Galdino (2009), que verificou um aumento do cloro residual combinado durante o período chuvoso na água de abastecimento de Campina Grande – PB.

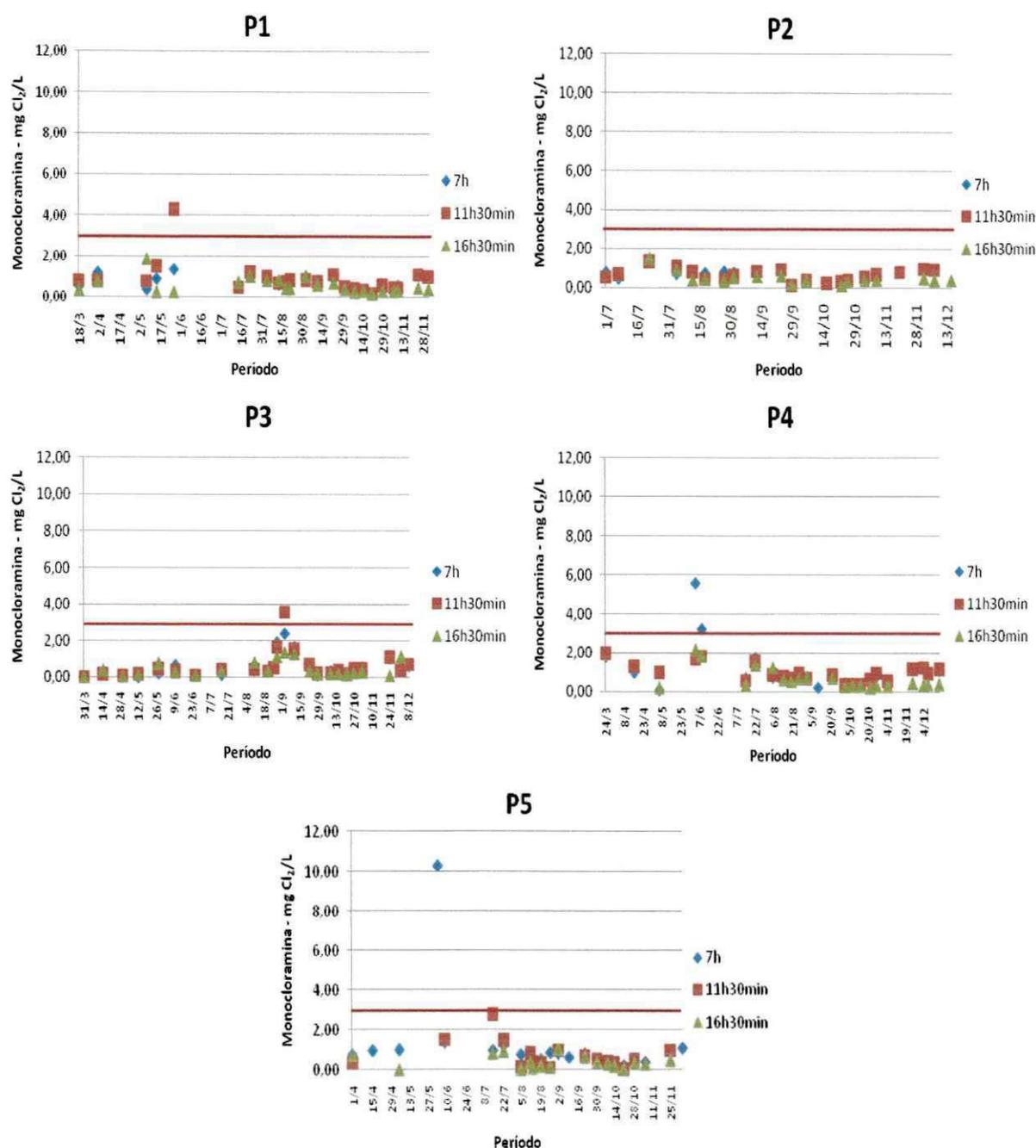


Figura 6.10 – Variação temporal de monocloramina nos pontos de coleta.

A dicloramina (Figura 6.11) apresentou as menores concentrações em todos os pontos monitorados, nos diferentes horários, mas a tricloramina (Figura 6.12) apresentou as maiores concentrações dentre as espécies de cloro combinado, em todos os pontos, nos diferentes horários. Esse fato pode estar relacionado com os baixos valores de pH verificados durante o período estudado e segundo Sanches et al. (2003), em pH baixo toda cloramina se

encontra na forma de tricloramina, cuja presença é responsável, em parte, pela ocorrência de odor e gosto desagradáveis na água.

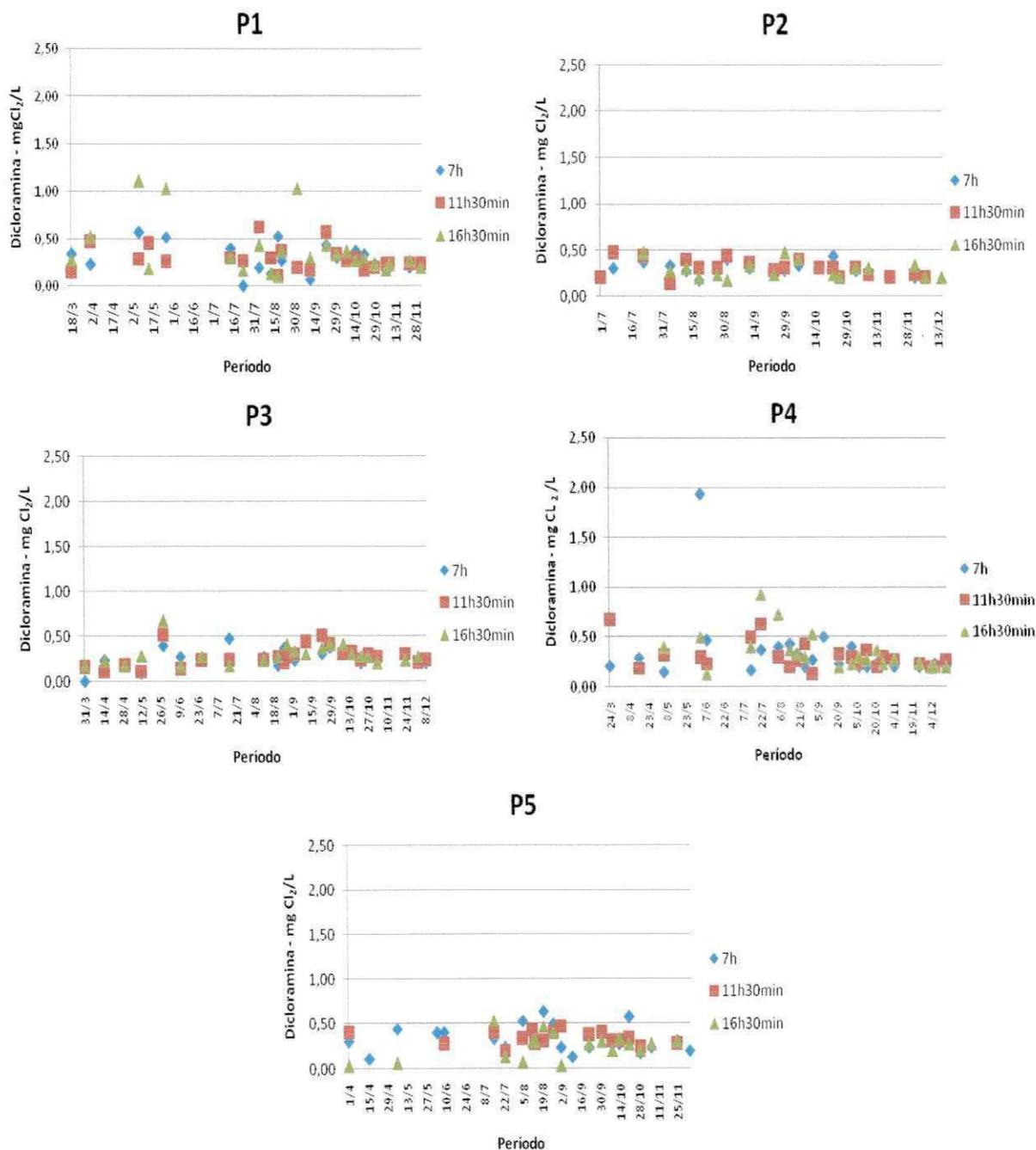


Figura 6.11– Variação temporal de dicloramina nos pontos P3, P4 e P5.

A monocloramina e a tricloramina apresentaram comportamento semelhante nos gráficos de variação temporal.

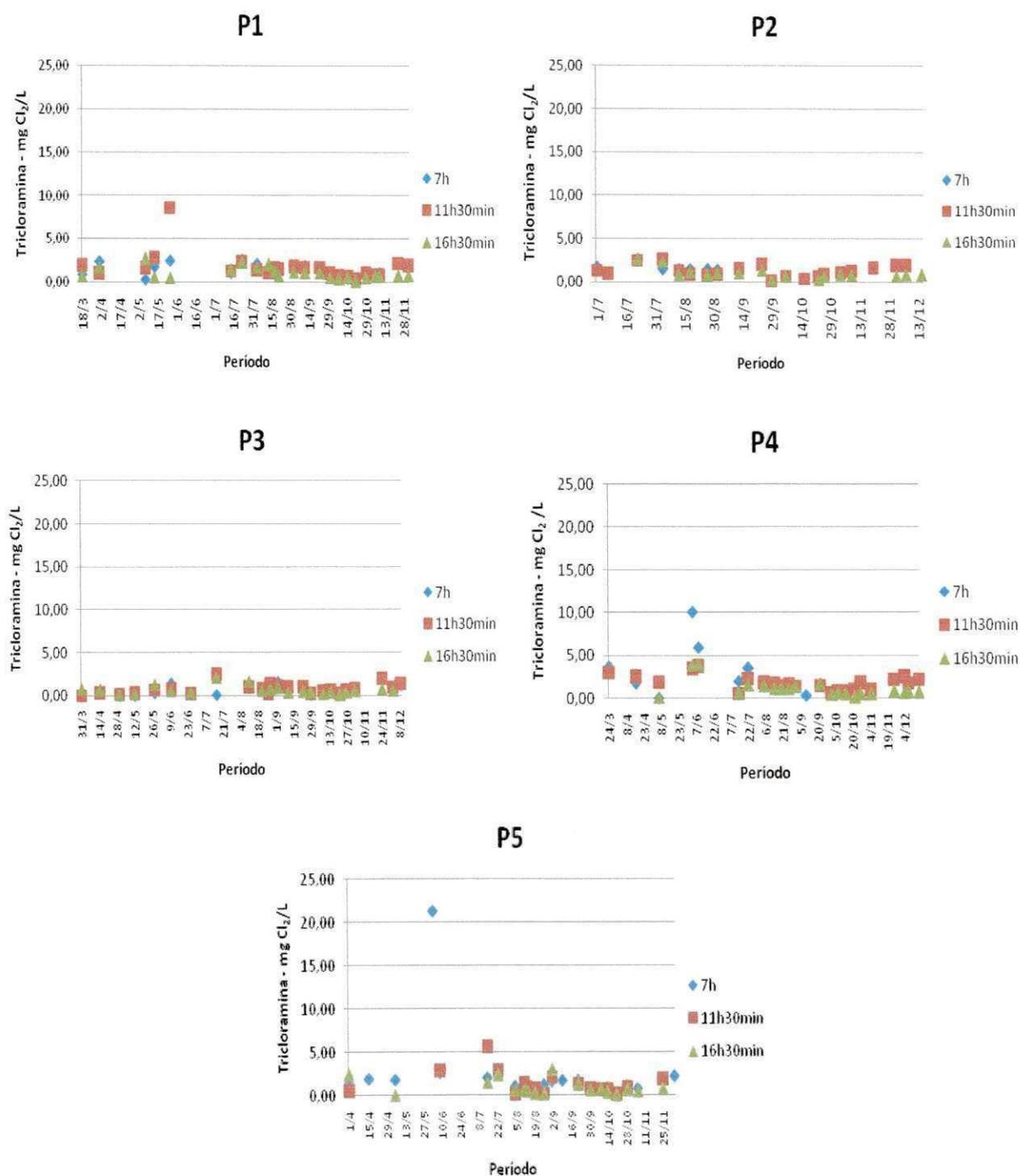


Figura 6.12 – Variação temporal de tricloramina nos pontos de coletas.

6.2 Turbidez

A Portaria 518/2004 do Ministério da Saúde estabelece 5,0 UT como o valor máximo permitido para a turbidez na rede de distribuição de água.

Após a análise descritiva dos resultados de turbidez foram obtidas as concentrações médias e o desvio padrão, nos diferentes horários, em cada ponto de coleta (Tabela 6.4). Mediante essa análise, foi possível observar que P4 apresentou a menor média para turbidez, sendo o único ponto que está de acordo com o padrão recomendado pela referida portaria. Os demais pontos apresentaram médias acima do padrão recomendado. O P5 apresentou o maior desvio para a turbidez, indicando uma maior variabilidade das medidas de turbidez nesse ponto nos diferentes horários.

Tabela 6.4 - Concentração média e desvio padrão da turbidez nos pontos de coleta, em diferentes horários.

Horário	P1		P2		P3		P4		P5	
	Média	Desvio								
7h	4,47	4,49	3,74	1,46	8,92	7,36	3,36	3,68	4,27	4,98
11h30min	5,04	4,88	4,69	3,57	5,29	2,84	3,06	2,81	9,52	8,67
16h30min	11,28	5,83	9,23	6,24	7,94	4,45	6,75	3,57	13,49	6,60

A Figura 6.13, representada pelos gráficos BOX PLOT, ilustra a distribuição das medidas de turbidez, nos cinco pontos de coleta. Foi possível observar que em P1, P2, P4 e P5 a turbidez teve um aumento significativo no último horário de coleta. A distribuição dos valores de turbidez foi assimétrica em todos os pontos. Foi verificada a presença de dados discrepantes nos cinco pontos monitorados.

No período de março a dezembro de 2009 foram realizadas 322 análises de turbidez nos cinco pontos de coleta, sendo verificado que 45,11% estavam acima do valor máximo recomendado na legislação. A Figura 6.14 apresentam a freqüência de medidas em desacordo com o valor máximo de 5,0 UT recomendado na Portaria (MS) 518/2004. Foi possível verificar violações em todos os horários e em todos os pontos monitorados. O último horário monitorado apresentou a maior freqüência de violações do padrão de potabilidade em todos os pontos de coleta e essa constatação pode estar relacionada com a água proveniente da ETA – Rio do Canto que abastece a rede de distribuição nesse horário. Na cidade de Areia existe um reconhecimento público a respeito da pouca oferta de água, sendo necessária a continuidade da operação dessa estação para suprir a demanda por água tratada da cidade.

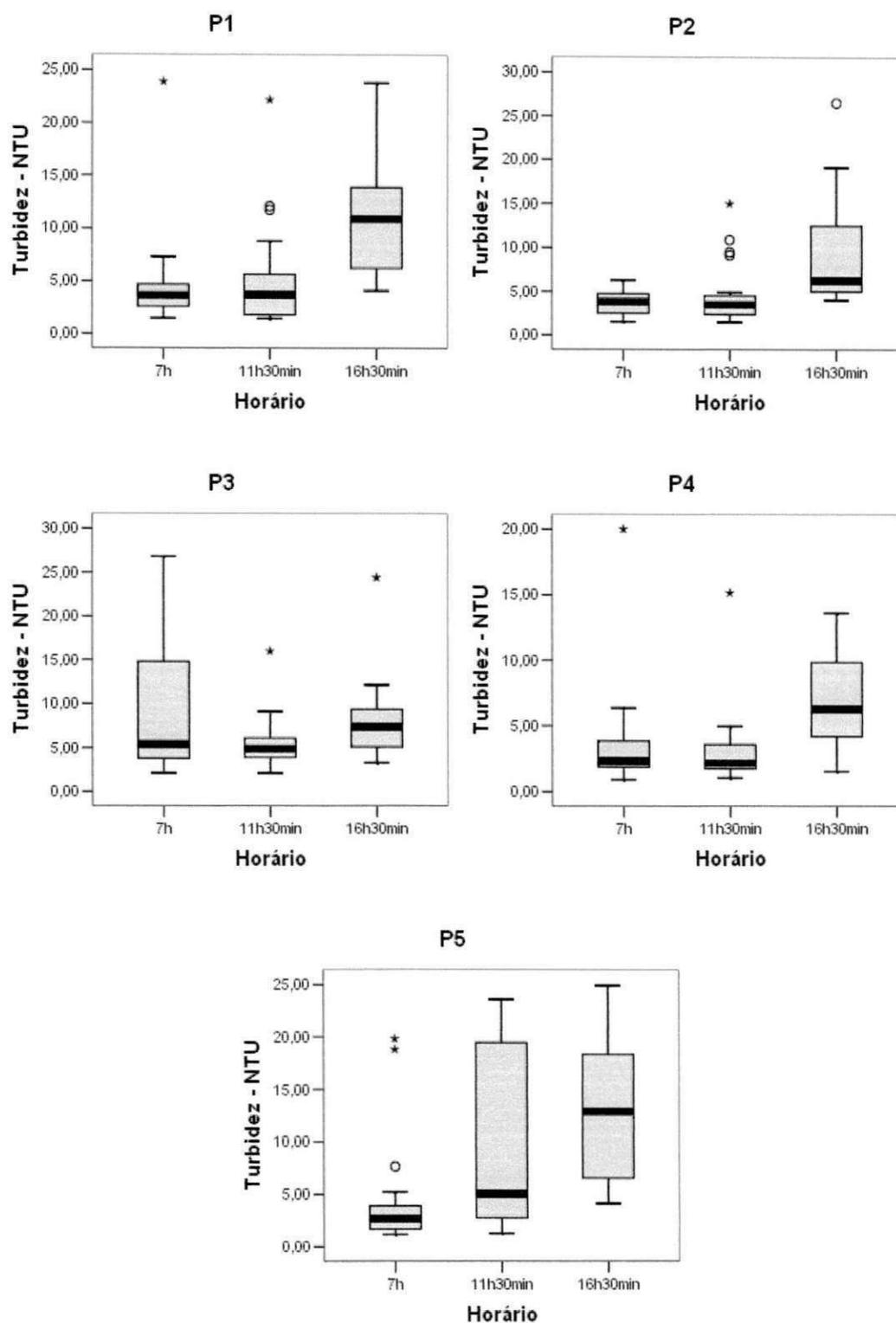


Figura 6.13 – Gráficos BOX PLOT de distribuição das medidas de turbidez nos pontos de coleta.

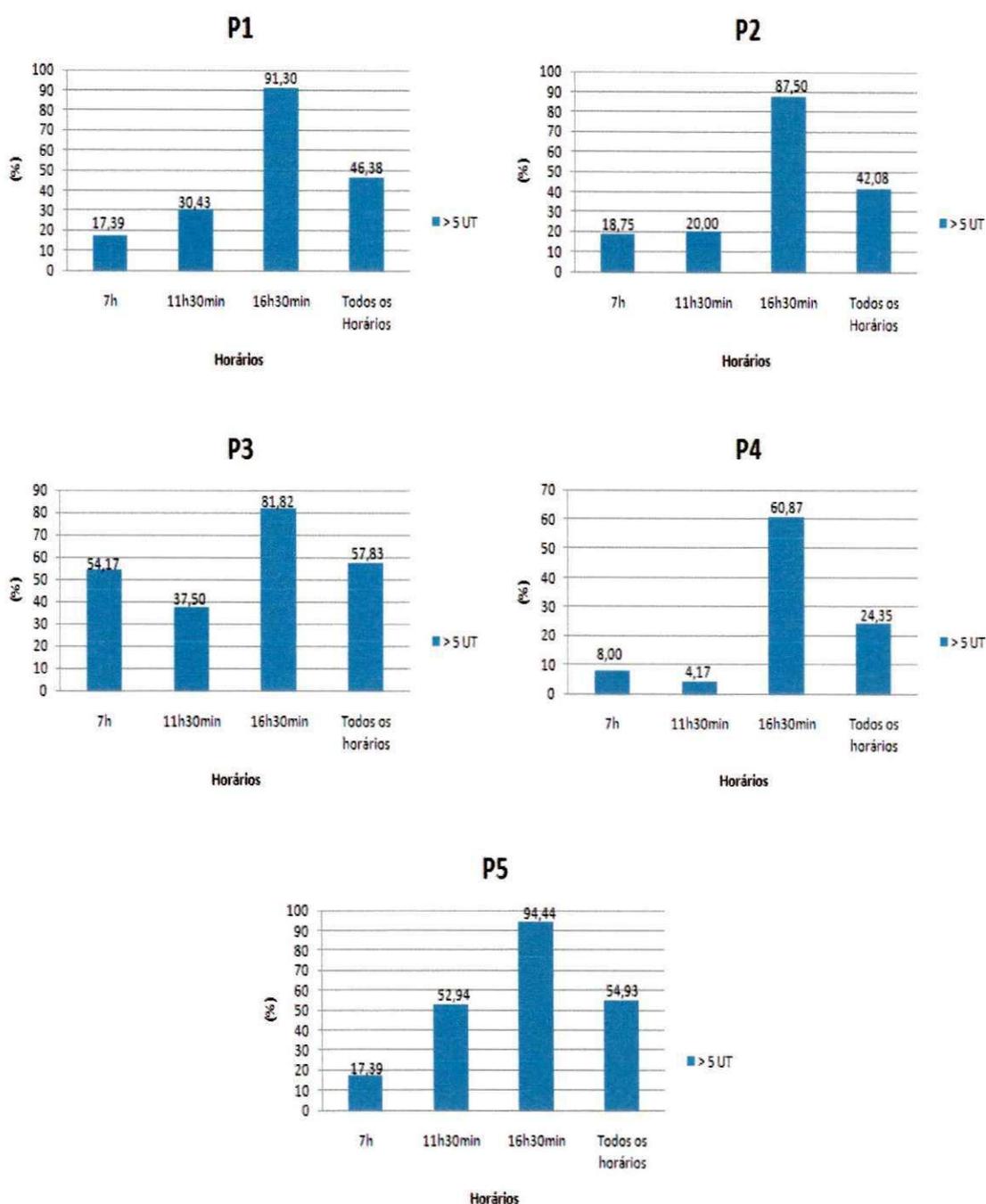


Figura 6.14 – Frequência de medidas de turbidez, nos pontos de coleta, em desacordo com o valor máximo (5 UT) recomendado na Portaria (MS) 518/2004.

Os gráficos de variação temporal da turbidez, ilustrados na Figura 6.15, permitem observar que em todos os pontos de coleta, em todos os horários, foram verificados valores de turbidez acima do valor máximo estabelecido pela legislação ao longo do período estudado.

Os maiores valores de turbidez determinados ao longo do tempo, em todos os pontos de coleta, foram registrados no último horário, indicando que a água tratada na ETA -

Rio do Canto apresenta turbidez elevada sendo menos eficiente na remoção de partículas suspensas na água.

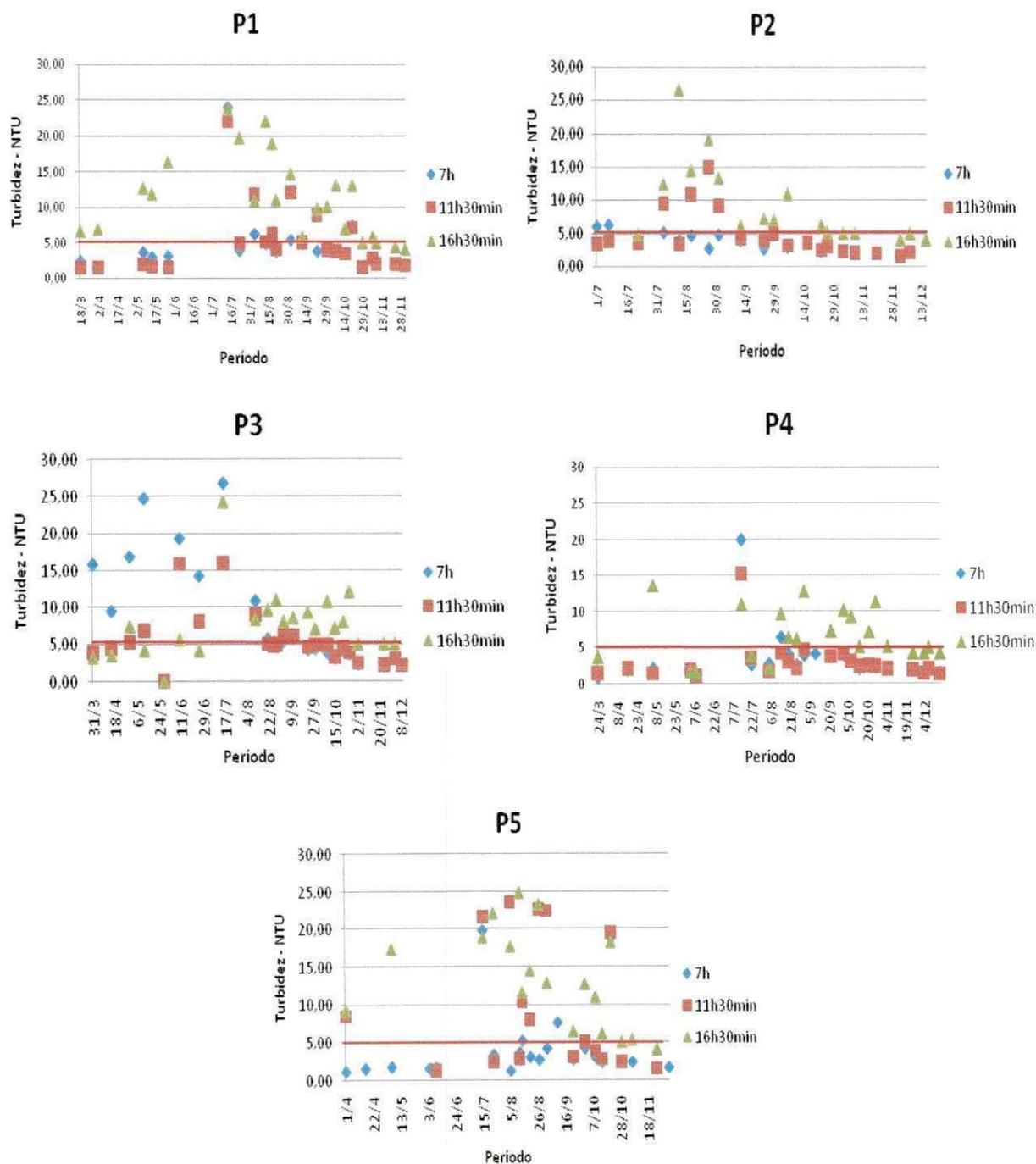


Figura 6.15 - Variação temporal da turbidez nos pontos de coleta.

6.3 Potencial Hidrogeniônico (pH)

A Portaria 518/2004 do Ministério da Saúde recomenda que no sistema de distribuição, o pH da água seja mantido na faixa entre 6,0 e 9,5.

Os resultados de pH foram submetidos à análise estatística descritiva, possibilitando conhecer as concentrações médias e os desvios padrões, nos diferentes horários, em cada ponto de coleta (Tabela 6.5). Todos os pontos monitorados, apresentaram valores médios abaixo do limite mínimo da faixa recomendada pela legislação, caracterizando, pela sua acidez, uma água de caráter agressivo. O terceiro horário de coleta apresentou as maiores médias para esse indicador.

O maior desvio foi observado em P4 indicando uma maior variabilidade dos valores de pH, nesse ponto, nos diferentes horários.

Tabela 6.5 – Concentração média e desvio padrão do pH, nos diferentes horários, em cada ponto de coleta.

Horário	P1		P2		P3		P4		P5	
	Média	Desvio								
7h	5,56	0,74	5,19	0,60	5,76	0,57	5,42	0,87	5,36	0,73
11h30min	5,70	0,80	5,54	0,63	5,87	0,59	5,44	0,96	5,55	0,69
16h30min	6,02	0,51	5,92	0,54	6,02	0,58	5,84	0,81	6,06	0,32

A Figura 6.16 reúne os gráficos BOX PLOT descritivos da distribuição dos valores de pH, determinados nos cinco pontos de coleta tendo sido observado que em todos esses pontos o indicador apresentou distribuição assimétrica nos três horários analisados. Também foi observado que apenas em P5 não ocorreram dados discrepantes (outliers).

No período de monitoração, de março a dezembro de 2009, das 322 análises de pH feitas nos cinco pontos de coleta, 68,76% estavam abaixo do valor mínimo (pH<6) recomendado na legislação. As Figuras 6.16 e 6.17 apresenta a frequência de determinações em desacordo com o limite mínimo recomendado para o pH pela Portaria (MS) 518/2004.

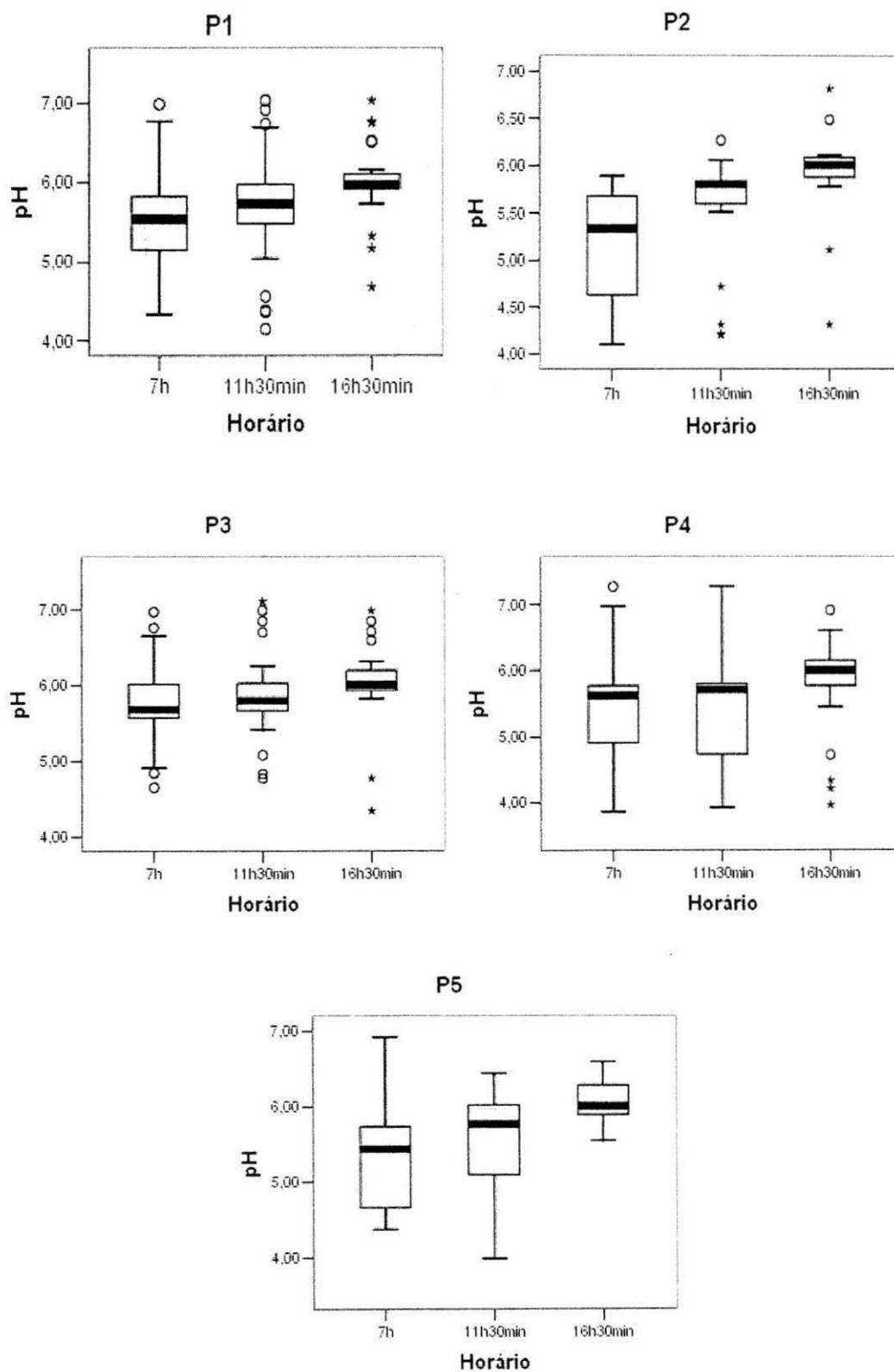
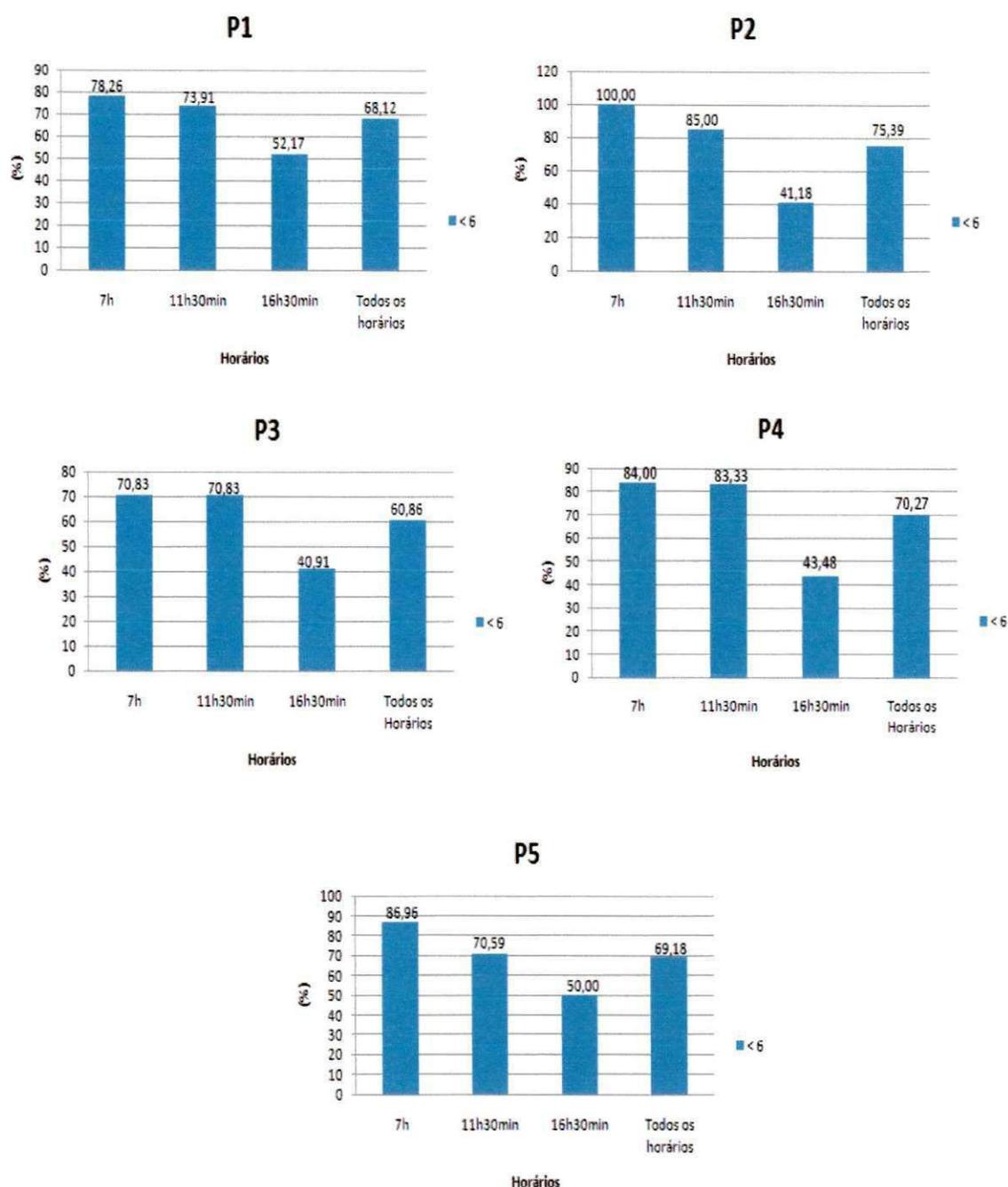


Figura 6.16 – Gráficos BOX PLOT de distribuição de valores de pH nos cinco pontos de coleta.



6

Figura 6.17 – Frequência de medidas de pH abaixo do limite mínimo recomendado na Portaria (MS) 518/2004, para os pontos de coleta.

O último horário de coleta apresentou o menor percentual de violações do padrão. O pH da água de abastecimento da cidade de Areia, caracterizado como ácido, teve uma diminuição em função do período chuvoso (abril a agosto). Nesse período ocorre expressivo aporte de materiais diversos para o interior dos mananciais devido ao carreamento pelas enxurradas exigindo uma adição em maior quantidade do agente coagulante, sulfato de alumínio, cuja hidrólise promove a liberação de íons hidrogênio que reduzem o pH da água,

apesar da adição de cal que é fonte de alcalinidade. Em visitas feitas às estações de tratamento, foi possível observar que o coagulante é aplicado de maneira “intuitiva”; baseada na experiência do operador.

A observação da variação temporal do pH, nos diferentes pontos de coleta (Figura 6.18), permitiu verificar uma diminuição dos valores, em todos os horários, ao longo da pesquisa.

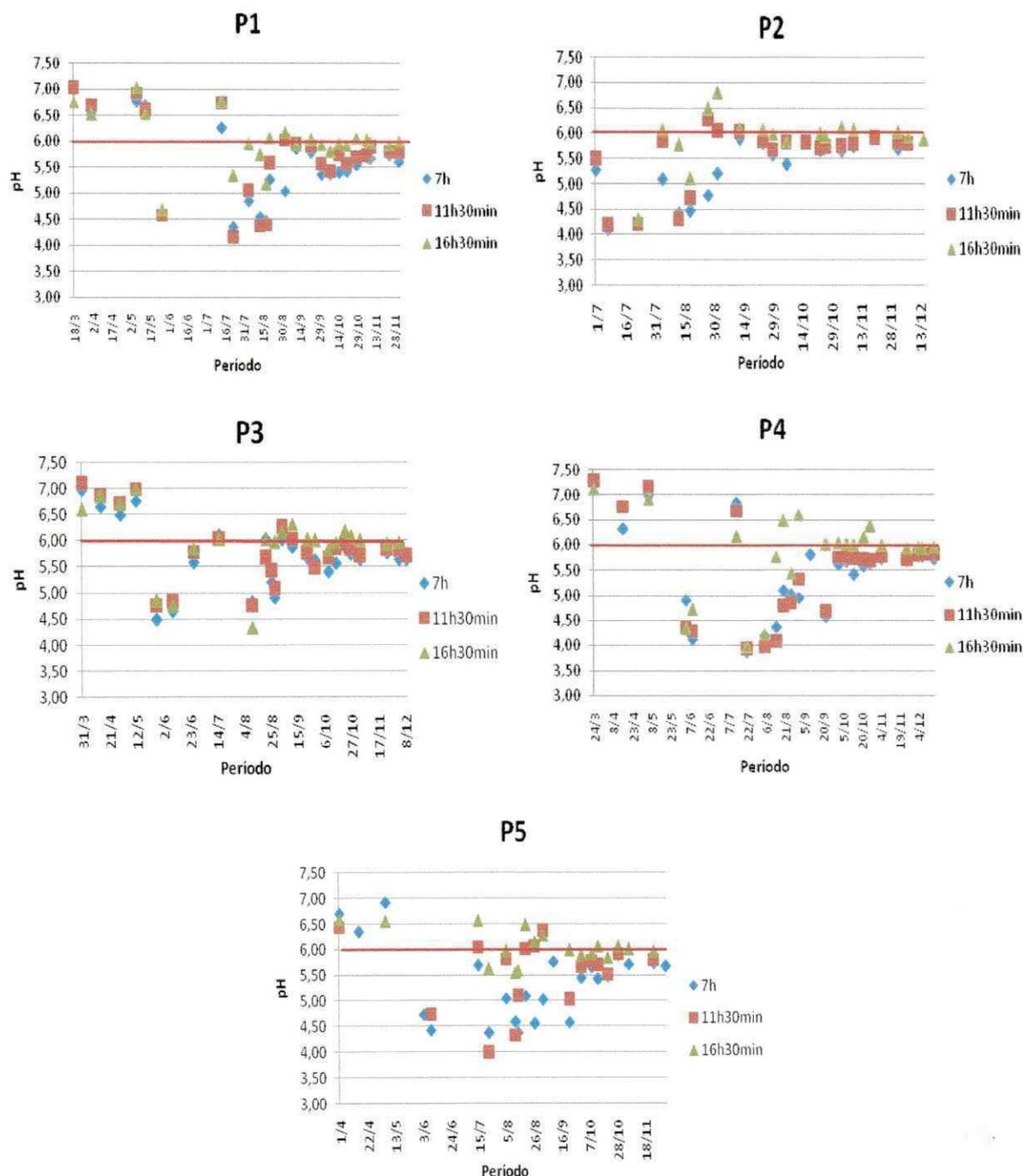


Figura 6.18 – Variação temporal do pH nos pontos de coleta.

O comportamento ácido desse indidador iniciou com o período chuvoso da região e pode estar associado à adição de altas doses de coagulante mesmo depois de encerrado esse período. Outra possibilidade para explicar esse comportamento é que as doses de cal não são suficientes para elevar a alcalinidade natural da água das barragens Rio do Canto e Mazagão (concentração média de 59 e 40 mg CaCO₃/L, respectivamente); após a reação do coagulante com a alcalinidade haverá uma aumento da acidez, diminuindo o pH da água. Uma alternativa para reverter essa situação seria a correção do pH no final do processo de tratamento.

O comportamento ácido do pH ensejou a predominância da tricloramina, conforme indicado na literatura (SANCHES et al., 2003). Entretanto, valores baixos de pH geram um risco importante de agressividade contra os materiais que constituem as tubulações (quando estes não são de PVC), diminuindo a vida útil dos mesmos e possibilitando a ocorrência de furos e fendas nas tubulações, contribuindo para a deterioração da qualidade da água tratada pela dissolução de produtos oriundos da própria corrosão e/ou do meio externo (ÁLVAREZ, 2005).

Nessa faixa de pH, praticamente todo o cloro residual livre apresenta-se sob a forma de ácido hipocloroso com alto poder de desinfecção, tendo isso sido comprovado pelos resultados das análises bacteriológicas realizadas que indicaram ausência de Coliformes Totais e *Escherichia coli* em praticamente todos os horários nos diferentes pontos de coleta.

6.4 Temperatura

A temperatura média da água durante a pesquisa foi de 25,2°C, variando entre 21,1 e 28,9°C, conforme apresentado na Tabela 6.6, que também apresenta as temperaturas mínima e máxima medidas nos cinco pontos de coleta.

Tabela 6.6 - Temperatura mínima, média e máxima registradas nos cinco pontos de coleta.

Temperatura (°C)	P1	P2	P3	P4	P5
Mínima	22,2	21,5	21,1	22,2	22,0
Máxima	28,6	27,7	28,1	26,8	28,9
Média	25,4	25,1	25,4	24,9	25,2

6.5 Coliformes Totais, *Escherichia coli* e Bactérias Heterotróficas

Foram realizadas análises de Coliformes Totais, *Escherichia coli* e Bactérias Heterotróficas, nos horários previamente definidos, nos cinco pontos de coleta, totalizando 292, 292 e 283 análises, respectivamente.

A Figura 6.19 ilustra o percentual de amostras com presença de Coliformes Totais e *E. coli*, tendo sido possível observar ausência de bactérias em 99,66% das análises realizadas em todos os pontos de coleta, nos diferentes horários. Apenas uma amostra (0,34% das análises), coletada em P1, indicou presença de Coliformes totais e *E. coli*. Esse fato pode estar relacionado com a baixa concentração de cloro residual livre (0,26 mg/L) na amostra. Estudos realizados por D'Aguila et al. (2000), avaliando a qualidade da água de abastecimento do município de Nova Iguçu, constataram que de 40 amostras com cloro residual livre abaixo de 0,2 mg/L, 24 estavam contaminadas. Essa mesma conclusão foi obtida por Queiroga et al. (2007), avaliando a qualidade da água do sistema de distribuição da cidade de Abadia de Goiás, que verificaram que amostras com concentrações de cloro livre abaixo do limite estabelecido pela Portaria 518/2004 apresentavam turbidez acima do padrão preconizado na legislação e a presença de bactérias coliformes.

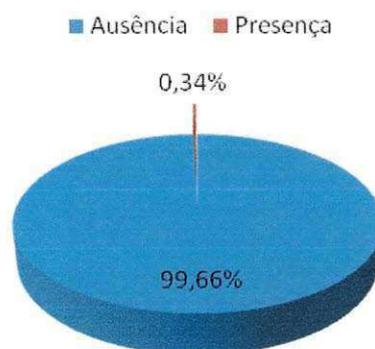


Figura 6.19 – Presença e ausência de Coliformes Totais e *E. coli* nas amostras de água do sistema de distribuição de água de Areia (PB), no período de março a dezembro de 2009.

A contagem de bactérias heterotróficas, em todos os pontos de coleta ao longo do período estudado, manteve-se em conformidade com a Portaria 518/2004 do Ministério da Saúde que recomenda o limite de 500 UFC/mL. Esse fato pode estar relacionando com as

elevadas concentrações de cloro residual livre e o comportamento ácido do pH ao longo da pesquisa favorecendo a predominância de ácido hipocloroso que é um excelente desinfetante.

6.6 Análise de variância

Os conjuntos de dados de todas as variáveis foram submetidos ao teste não paramétrico de Kolmogorov - Smirnov para verificar o ajuste à distribuição normal. Dentre as variáveis analisadas, a maioria apresentou distribuição normal e, para as demais, foi necessária a aplicação de transformações matemáticas com fórmulas simples (raiz quadrada, potenciação e/ou \log_{10}) com vistas à obtenção da normalidade, condição fundamental para a análise de variância. Com o ajuste da normalidade, os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) de fator único, ao nível de significância de 5 %, a qual fornece a estatística F que ao ser comparada com o $F_{\text{crítico}}$ obtido na Tabela (em anexo), indica a existência ($F > F_{\text{cr}}$) ou não ($F < F_{\text{cr}}$) de diferença significativa entre as médias de grupos amostrais de uma mesma variável sob comparação. Às variáveis que apresentaram diferenças significativas foi aplicado o método gráfico GT2, no qual uma igualdade estatística entre um par de valores médios é demonstrada pela intercessão dos respectivos intervalos de comparação e a diferença significativa fica evidenciada pela não intercessão desses intervalos. Todos os testes foram levados a efeito com a utilização do programa estatístico SPSS, versão 13.0.

A análise de variância foi aplicada ao conjunto de dados em duas etapas: primeiramente foi comparada as médias amostrais de cada uma das variáveis em **função dos horários** de coleta e em seguida foi comparada as médias dos conjuntos amostrais de cada um das variáveis em **função dos pontos de coleta**.

a) Função dos horários

Nas Tabelas 6.7 a 6.11, são apresentados os resultados da análise de variância para a comparação das médias das variáveis em função do horário, nos diferentes pontos de coleta.

Tabela 6.7 - Análise de variância das médias das variáveis em função do horário para o ponto P1.

		Soma dos quadrados	G.L.	Quadrado Médio	F	Sig.
Cloro Residual Livre	Entre Grupos	11,573	2	5,786	4,106	,021
	Dentro grupos	93,022	66	1,409		
	Total	104,595	68			
Monocloramina	Entre Grupos	1,338	2	,669	2,307	,108
	Dentro grupos	19,145	66	,290		
	Total	20,483	68			
Dicloramina	Entre Grupos	,088	2	,044	1,595	,211
	Dentro grupos	1,813	66	,027		
	Total	1,901	68			
Tricloramina	Entre Grupos	5,496	2	2,748	2,357	,103
	Dentro grupos	76,965	66	1,166		
	Total	82,461	68			
pH	Entre Grupos	2,511	2	1,255	2,588	,083
	Dentro grupos	32,017	66	,485		
	Total	34,528	68			
Temperatura	Entre Grupos	39,199	2	19,60	14,489	,000
	Dentro grupos	89,199	66	1,353		
	Total	128,477	68			
Turbidez	Entre Grupos	22,813	2	11,406	16,043	,000
	Dentro grupos	46,926	66	,711		
	Total	69,739	68			

F crítico = 3,142

Tabela 6.8 - Análise de variância das médias das variáveis em função do horário para o ponto P2.

		Soma dos quadrados	G.L.	Quadrado Médio	F	Sig.
Cloro Residual Livre	Entre Grupos	8,182	2	4,091	3,090	,051
	Dentro grupos	60,338	50	1,207		
	Total	68,520	52			
Monocloramina	Entre Grupos	,331	2	,166	1,778	,180
	Dentro grupos	4,655	50	,093		
	Total	4,986	52			
Dicloramina	Entre Grupos	,002	2	,001	,117	,889
	Dentro grupos	,379	50	,008		
	Total	,381	52			
Tricloramina	Entre Grupos	,889	2	,444	1,074	,350
	Dentro grupos	20,696	50	,414		
	Total	21,584	52			
pH	Entre Grupos	4,413	2	2,207	6,233	,004
	Dentro grupos	17,702	50	,354		
	Total	22,115	52			
Temperatura	Entre Grupos	38,560	2	19,280	14,716	,000
	Dentro grupos	65,508	50	1,310		
	Total	104,069	52			
Turbidez	Entre Grupos	292,801	2	46,401	8,149	,001
	Dentro grupos	898,326	50	17,967		
	Total	1191,127	52			

F crítico = 3,194

Tabela 6.9 – Análise de variância das médias das variáveis em função do horário para o ponto P3.

		Soma dos quadrados	G.L.	Quadrado Médio	F	Sig.
Cloro residual livre	Entre grupos	3,139	2	1,569	1,863	,163
	Dentro grupos	56,434	67	,842		
	Total	59,573	69			
Monocloramina	Entre grupos	,097	2	,048	,822	,444
	Dentro grupos	3,945	67	,059		
	Total	4,042	69			
Dicloramina	Entre grupos	,009	2	,004	,360	,699
	Dentro grupos	,792	67	,012		
	Total	,800	69			
Tricloramina	Entre grupos	,187	2	,094	,396	,675
	Dentro grupos	15,830	67	,236		
	Total	16,017	69			
pH	Entre grupos	,760	2	,380	1,126	,331
	Dentro grupos	22,606	67	,337		
	Total	23,365	69			
Temperatura	Entre grupos	32,649	2	16,324	13,984	,000
	Dentro grupos	78,215	67	1,167		
	Total	110,863	69			
Turbidez	Entre grupos	4,822	2	2,411	2,980	,058
	Dentro grupos	54,205	67	,809		
	Total	59,027	69			

F crítico = 3,141

Tabela 6.10 - Análise de variância das médias das variáveis em função do horário para o ponto P4.

		Soma dos quadrados	G.L.	Quadrado Médio	F	Sig.
Cloro residual livre	Entre grupos	25,383	2	12,692	10,322	,000
	Dentro grupos	83,613	68	1,230		
	Total	108,997	70			
Monocloramina	Entre grupos	,808	2	,404	4,035	,022
	Dentro grupos	6,805	68	,100		
	Total	7,613	70			
Dicloramina	Entre grupos	,002	2	,001	,021	,979
	Dentro grupos	2,755	68	,041		
	Total	2,756	70			
Tricloramina	Entre grupos	2,107	2	1,054	5,417	,007
	Dentro grupos	13,225	68	,194		
	Total	15,332	70			
pH	Entre grupos	2,662	2	1,331	1,703	,190
	Dentro grupos	53,919	69	,781		
	Total	56,581	71			
Temperatura	Entre grupos	20,015	2	10,008	7,317	,001
	Dentro grupos	94,371	69	1,368		
	Total	114,386	71			
Turbidez	Entre grupos	10,590	2	5,295	12,147	,000
	Dentro grupos	30,078	69	,436		
	Total	40,667	71			

F crítico = 3,139

Tabela 6.11 – Análise de variância das médias das variáveis em função do horário para o ponto P5.

		Soma dos quadrados	G.L.	Quadrado Médio	F	Sig.
Cloro residual livre	Entre grupos	18,373	2	9,186	4,808	,012
	Dentro de grupo	105,093	55	1,911		
	Total	123,466	57			
Monocloramina	Entre grupos	1,494	2	,747	4,233	,019
	Dentro de grupo	9,705	55	,176		
	Total	11,199	57			
Dicloramina	Entre grupos	,090	2	,045	2,870	,065
	Dentro de grupo	,859	55	,016		
	Total	,949	57			
Tricloramina	Entre grupos	2,109	2	1,054	2,589	,084
	Dentro de grupo	22,396	55	,407		
	Total	24,504	57			
pH	Entre grupos	5,197	2	2,598	6,789	,002
	Dentro de grupo	21,050	55	,383		
	Total	26,247	57			
Temperatura	Entre grupos	35,713	2	17,857	10,495	,000
	Dentro de grupo	93,583	55	1,702		
	Total	129,296	57			
Turbidez	Entre grupos	29,072	2	14,536	12,586	,000
	Dentro de grupo	63,523	55	1,155		
	Total	92,595	57			

F crítico = 3,170

Em P1, foi verificada diferença significativa entre as médias de cloro residual livre, turbidez e temperatura. Em P2, a diferença existiu entre as médias de pH, temperatura e turbidez. Em P3, a diferença foi significativa apenas para a temperatura. Em P4, foi observada diferença para as médias de cloro residual livre, monocloramina, tricloramina, temperatura e turbidez. Em P5, as médias de cloro residual livre, monocloramina, pH, temperatura e turbidez apresentaram diferenças significativas entre os horários, indicando sua influência no comportamento dessas variáveis.

Nas Figuras 6.20 a 6.24, são ilustradas as comparações das médias pelo método gráfico GT-2 para as variáveis que apresentaram diferenças significativas entre os horários, em cada ponto monitorado. Em todos os pontos de coleta foi observada a existência de diferença significativa entre as médias de temperatura do primeiro e dos demais horários.

No ponto P1 o método gráfico GT-2 permitiu identificar diferenças significativas entre as médias de cloro residual livre do segundo e do último horários, mas essa diferença não foi observada entre o primeiro e o último horário de coleta. Em relação à turbidez foi observado que as médias do último horário foram estatisticamente diferentes das demais.

A diferença significativa para as médias de pH foi verificada graficamente entre o primeiro e o último horários do ponto de coleta P2, no entanto não foi observada diferença comparando o segundo os demais horários monitorados.

Em P4, foi observado que para nas variáveis cloro residual livre, tricloramina e turbidez, o último horário foi estatisticamente diferente dos demais, não havendo diferença entre o primeiro e o segundo horário monitorado. No entanto, para a monocloramina, o segundo horário não apresentou diferença em relação aos demais.

No ponto de coleta P5, para as variáveis pH e cloro residual livre, o último horário foi estatisticamente diferente dos demais, não sendo observada diferença entre o primeiro e o segundo horários. Em relação à monocloramina, foi verificada diferença entre o primeiro e terceiro horários. Para a turbidez, o primeiro horário diferiu estatisticamente dos demais.

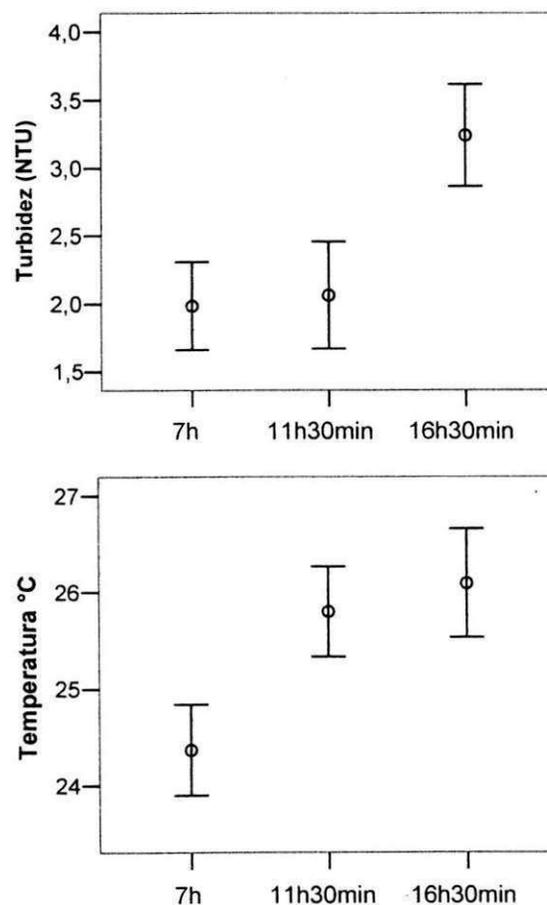


Figura 6.20 - Médias e intervalos de comparação de 95% (método GT-2) para as variáveis cloro residual livre, turbidez e temperatura analisadas em três horários no ponto de coleta P1.

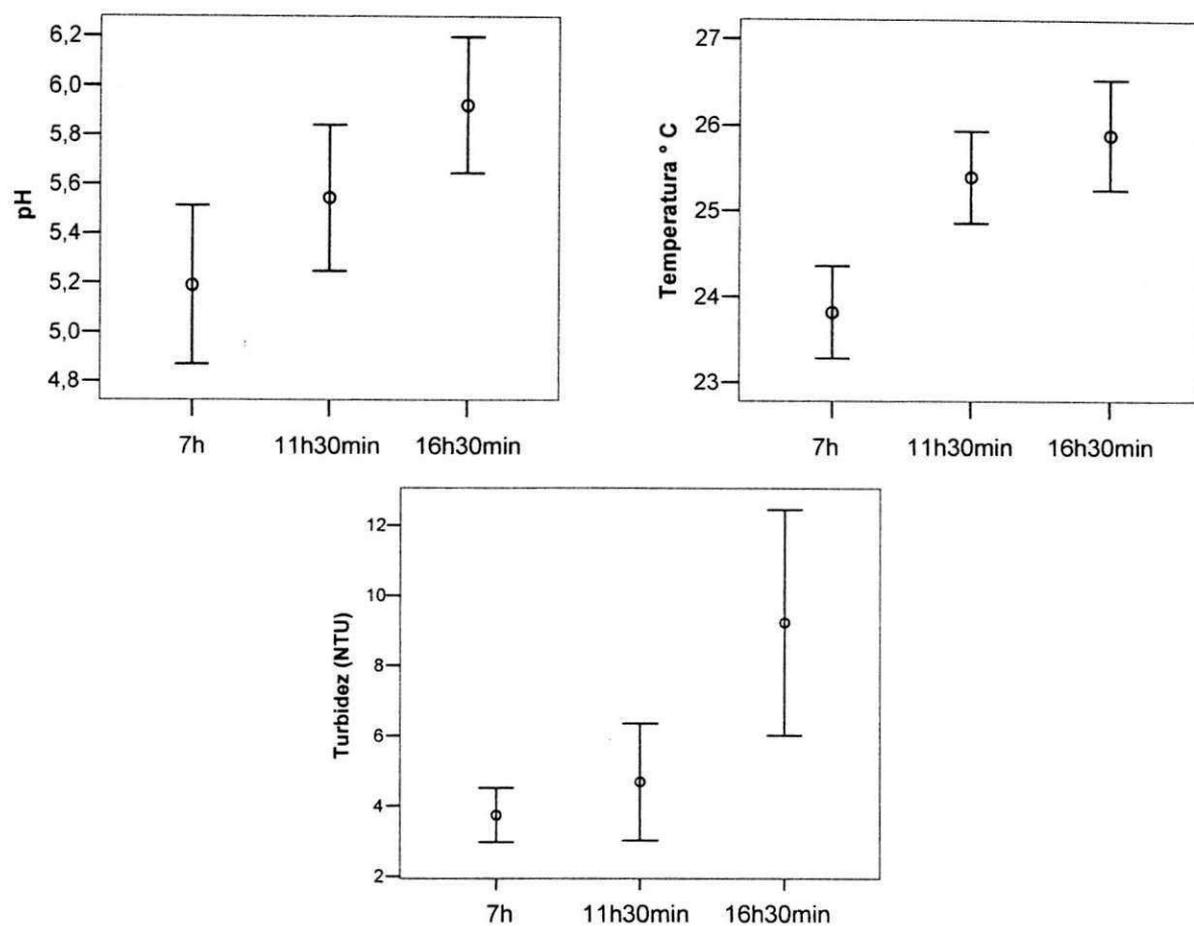


Figura 6.21 – Médias e intervalos de comparação de 95% (método GT-2) para as variáveis pH, temperatura e turbidez analisadas em três horários no ponto de coleta P2.

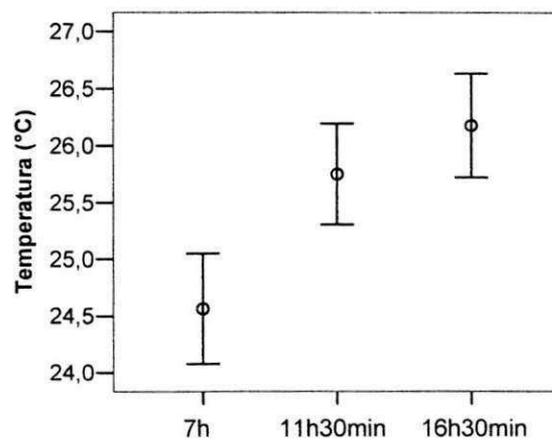


Figura 6.22 - Médias e intervalos de comparação de 95% (método GT-2) para a temperatura determinada em três horários no ponto de coleta P3.

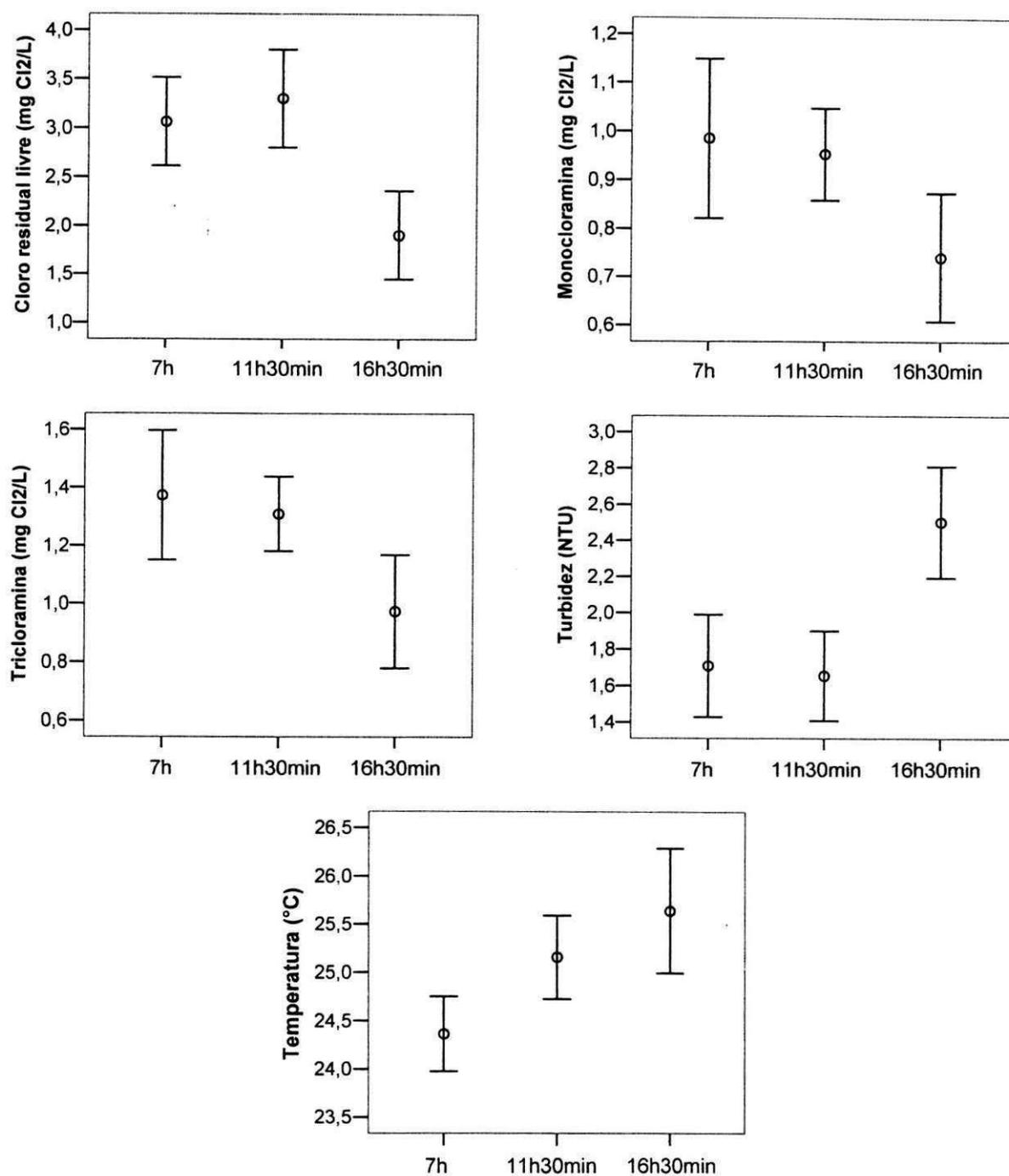


Figura 6.23 – Médias e intervalos de comparação de 95% (método GT-2) para as variáveis cloro residual livre, monocloramina, tricloramina, turbidez e temperatura determinadas em três horários no ponto de coleta P4.

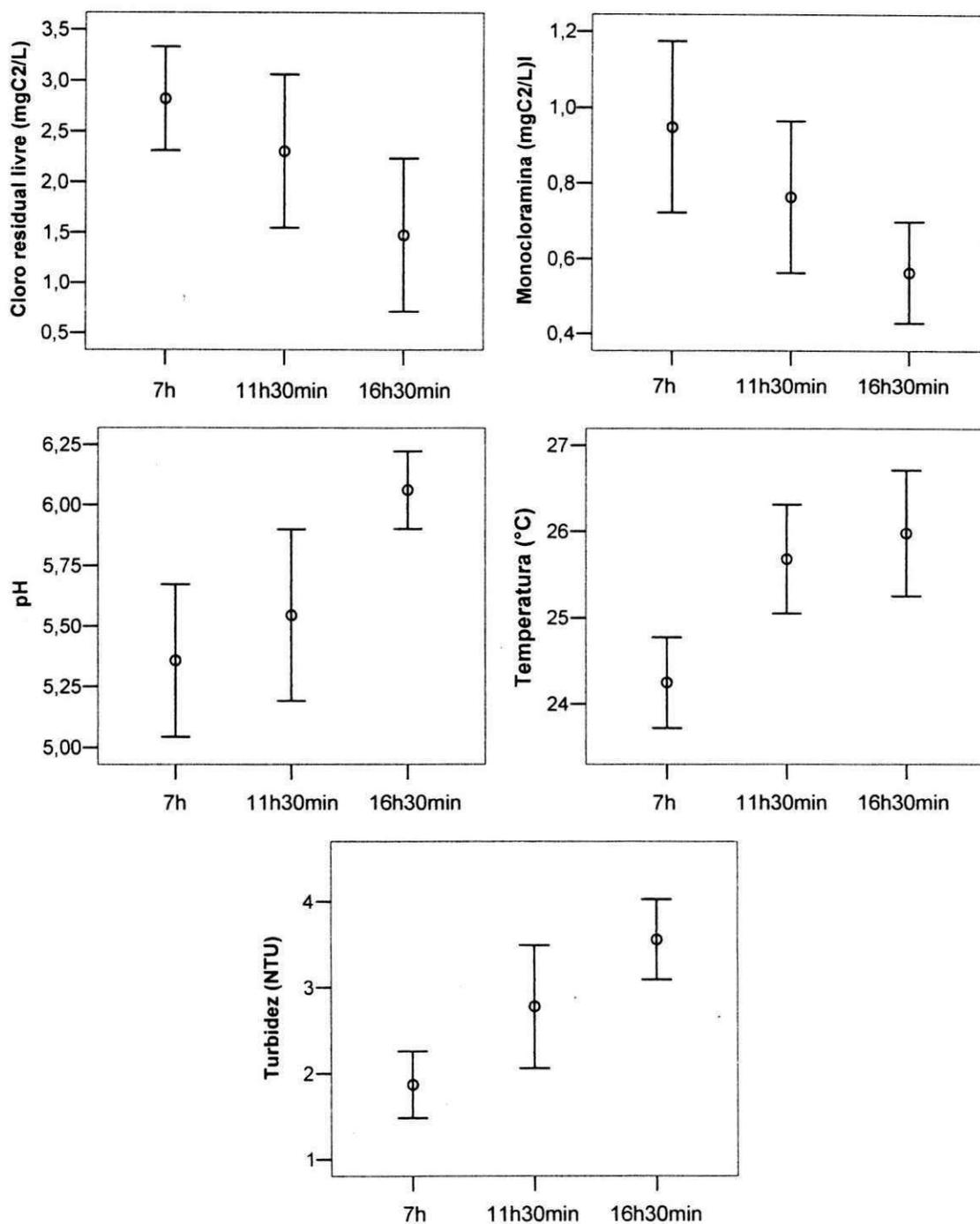


Figura 6.24 – Médias e intervalos de comparação de 95% (método GT-2) para as variáveis cloro residual livre, monocloramina, pH, temperatura e turbidez determinadas em três horários no ponto de coleta P5.

Para todas as variáveis que apresentaram diferença significativa entre os horários de coleta é possível inferir que, na elaboração de um futuro plano de amostragem para avaliar a qualidade da água de abastecimento da cidade de Areia, é necessário que sejam observadas

essas variações ao longo do dia. No caso dos indicadores sentinelas, o método gráfico GT-2 permitiu observar que no último horário de coleta, enquanto a concentração de cloro residual livre diminuía, havia uma elevação da turbidez da água.

Com a análise dos dados foi possível verificar que, quando a ETA Rio do Canto abastecia o sistema de distribuição, a população recebia água mais turva e com menor concentração de cloro residual livre.

b) Função dos pontos de coleta

Como foi verificada a existência de diferença significativa entre os horários de coleta, foi necessário formar subamostras com os horários estatisticamente semelhantes para verificar se o ponto de coleta exerce influência sobre o comportamento das variáveis monitoradas na pesquisa. As subamostras formadas foram:

- Primeira: junção do primeiro (7h) com o segundo horário (11h30min) de coleta para as variáveis cloro residual livre, monoclорamina, tricloramina, pH e turbidez;
- Segunda: junção do segundo (11h30min) com o último horário (16h30min) de coleta para a variável temperatura.
- Terceira: o último horário de coleta para as variáveis cloro residual livre, monoclорamina, tricloramina, pH e turbidez;
- Quarta: o primeiro horário (7h) de coleta para a variável temperatura.

A análise de variância das variáveis em função dos pontos de coleta para a primeira e a segunda subamostra (Tabela 6.12), revelou que existe diferença significativa ($F > F_{cr}$) entre as médias de cloro residual livre, monoclорamina, tricloramina, turbidez e pH, sendo constatado que o ponto em que amostras são coletadas exerce influência sobre o comportamento das variáveis analisadas.

O método gráfico GT-2 para comparação das médias das variáveis com diferenças significativas, entre os pontos de coleta (Figura 6.25), permitiu visualizar que para cloro residual livre, monoclорamina e tricloramina o ponto P3, situado no Centro de Ciências Agrárias (UFPB), apresentou diferença significativa em relação aos demais. Essa constatação pode estar associada com a distância de 4 km existente entre o ponto de monitoração e a

estação de tratamento de água além de que P3 está situado numa extremidade (ponta) da rede de distribuição.

Tabela 6.12 – Análise de variância das variáveis analisadas em função dos pontos de coleta para a primeira e a segunda subamostra.

		Soma dos quadrados	G.L.	Quadrado Médio	F	Sig.
Cloro residual livre	Entre grupos	108,230	4	27,057	19,991	,000
	Dentro de grupos	289,643	214	1,353		
	Total	397,872	218			
Monocloramina	Entre grupos	1,579	4	,395	16,097	,000
	Dentro de grupos	5,247	214	,025		
	Total	6,826	218			
Dicloramina	Entre grupos	,131	4	,033	1,301	,271
	Dentro de grupos	5,403	214	,025		
	Total	5,534	218			
Tricloramina	Entre grupos	,841	4	,210	15,000	,000
	Dentro de grupos	3,000	214	,014		
	Total	3,841	218			
pH	Entre grupos	5,840	4	1,460	2,704	,031
	Dentro de grupos	115,541	214	,540		
	Total	121,381	218			
Temperatura	Entre grupos	10,633	4	2,658	1,793	,132
	Dentro de grupos	303,939	205	1,483		
	Total	314,572	209			
Turbidez	Entre grupos	475,199	4	118,800	4,734	,001
	Dentro de grupos	5370,498	214	25,096		
	Total	5845,697	218			

F crítico = 2,38

O gráfico para turbidez permitiu visualizar que o ponto de coleta P4, situado no Hospital Municipal Hercílio Rodrigues, apresentou diferença significativa em relação aos pontos P3 e P5. Essa observação pode estar associada com a menor distância desse ponto às estações de tratamento de água (800 m à ETA – Mazagão e 1000 m à ETA – Rio do Canto). Como a turbidez nesse ponto foi menor que nos demais, foi verificado visualmente nos gráficos que as concentrações médias de cloro livre foram mais elevadas que nos demais pontos monitorados, indicando uma associação inversa entre as duas variáveis.

Em relação ao pH, o gráfico permitiu observar que a diferença significativa existiu entre o P2 e P3, e os demais pontos não apresentaram diferença.

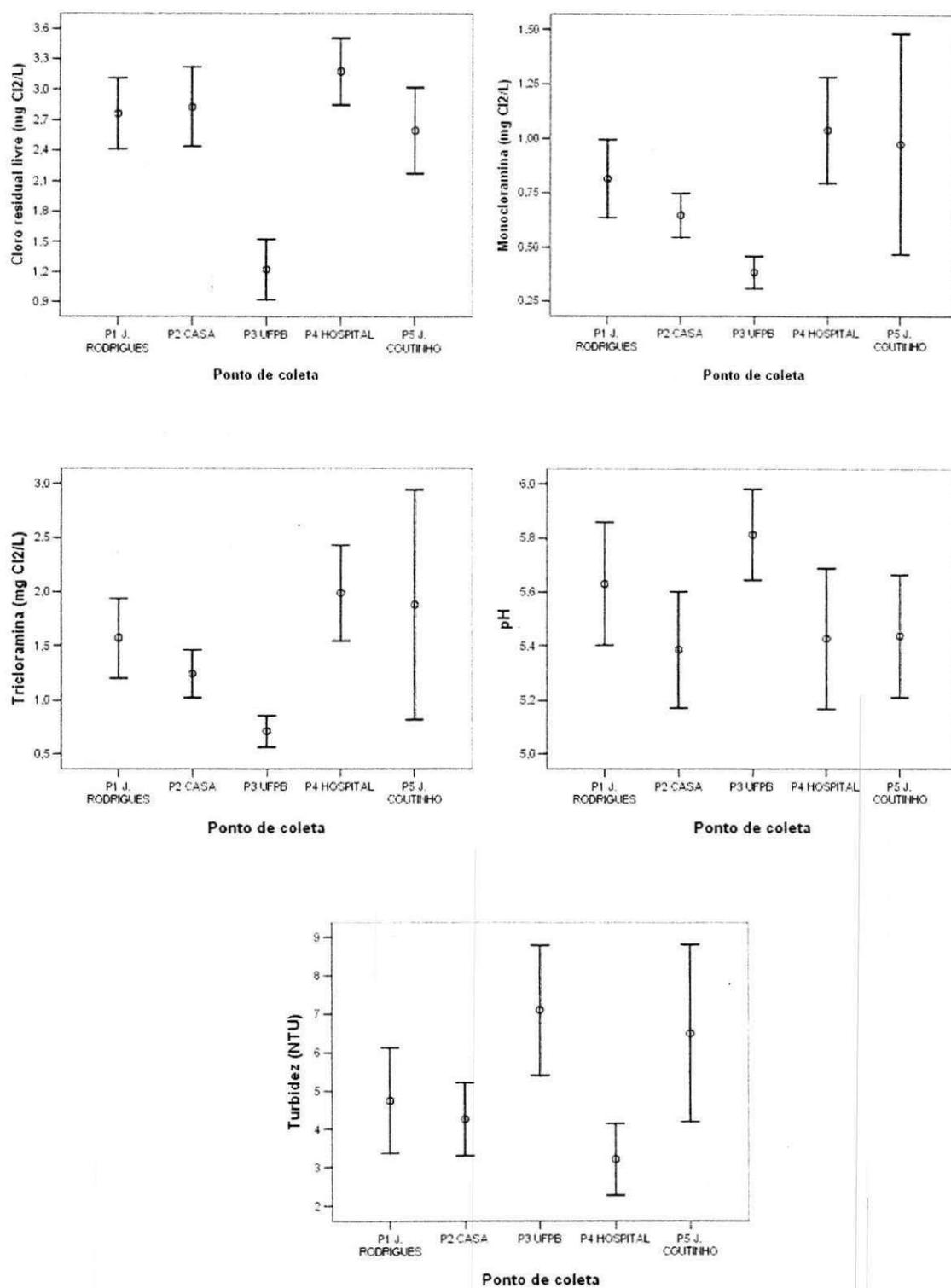


Figura 6.25 - Médias e intervalos de comparação de 95% (método GT-2) para as variáveis cloro residual livre, monocloramina, tricloramina, pH e turbidez determinadas na primeira e na segunda subamostra.

O resultado da análise de variância para a terceira e a quarta subamostra está sendo apresentado na Tabela 6.13. Foi possível observar a existência de diferença significativa para cloro residual livre, monocloramina, tricloramina e turbidez; indicando que o ponto de coleta influencia o comportamento dessas variáveis.

Tabela 6.13 – Análise de variância das variáveis analisadas em função dos pontos de coleta para a terceira e a quarta subamostra.

		Soma dos quadrados	G.L.	Quadrado Médio	F	Sig.
Cloro residual livre	Entre grupos	3,149	4	,787	6,341	,000
	Dentro de grupos	11,920	96	,124		
	Total	15,069	100			
Monocloramina	Entre grupos	,343	4	,086	3,616	,009
	Dentro de grupos	2,278	96	,024		
	Total	2,621	100			
Dicloramina	Entre grupos	,077	4	,019	1,717	,153
	Dentro de grupos	1,072	96	,011		
	Total	1,149	100			
Tricloramina	Entre grupos	,359	4	,090	2,314	,063
	Dentro de grupos	3,720	96	,039		
	Total	4,079	100			
pH	Entre grupos	,680	4	,170	,491	,742
	Dentro de grupos	33,589	97	,346		
	Total	34,269	101			
Temperatura	Entre grupos	5,632	4	1,408	1,188	,320
	Dentro de grupos	125,644	106	1,185		
	Total	131,277	110			
Turbidez	Entre grupos	582,041	4	145,510	5,055	,001
	Dentro de grupos	2792,385	97	28,787		
	Total	3374,426	101			

F crítico = 2,48

O método gráfico GT-2 (Figura 6.27), permitiu visualizar que para cloro residual livre o ponto P3, situado no Centro de Ciências Agrárias (UFPB), apresentou diferença significativa em relação aos pontos P1, P2 e P4. Em relação à monocloramina P3 foi estatisticamente diferente de P1 e P4. Em relação à turbidez, P4 foi diferente de P1 e P5.

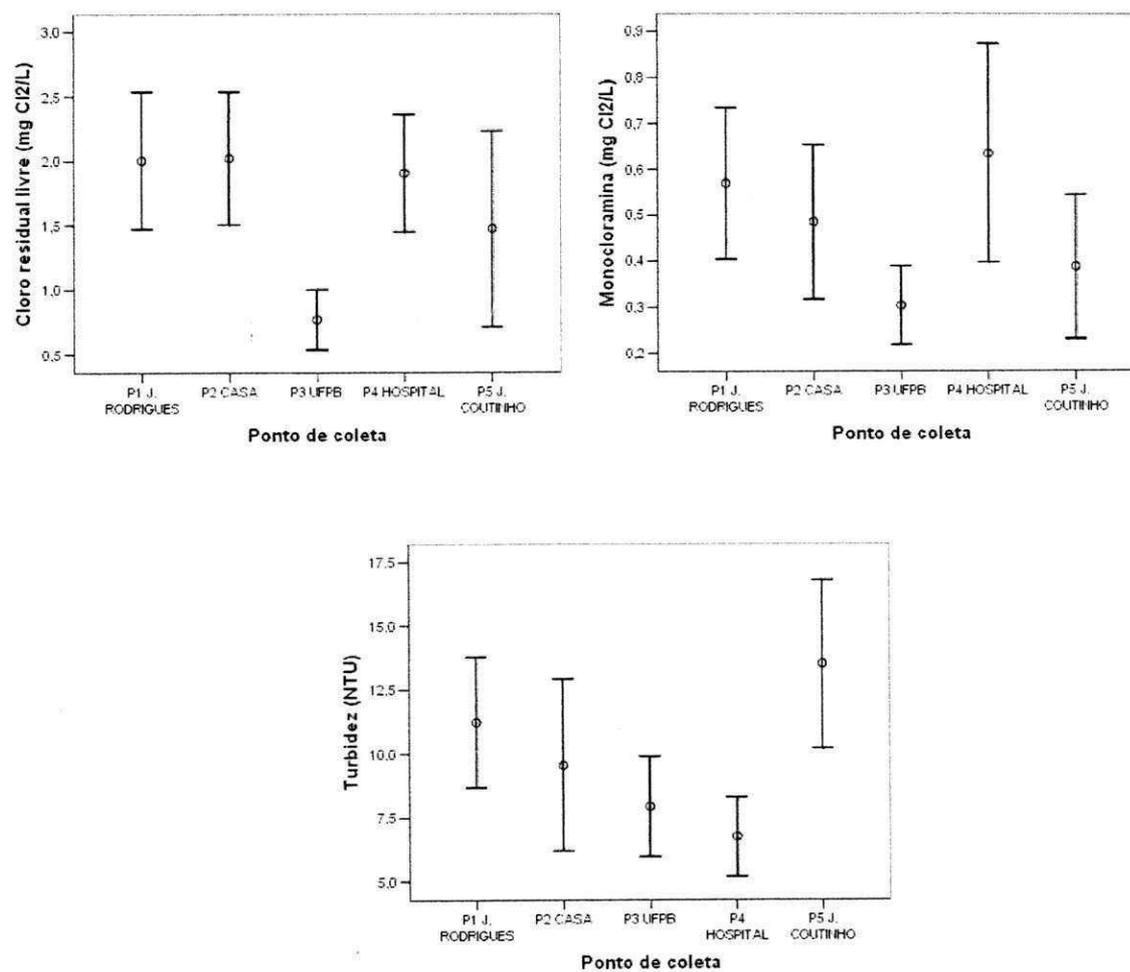


Figura 6.26 - Médias e intervalos de comparação de 95% (método GT-2) para as variáveis cloro residual livre, monocloramina e turbidez determinadas na terceira e na quarta subamostra.

7.0 DISCUSSÃO

7.1 A situação da qualidade da água de abastecimento de Areia

Analisando os resultados dos indicadores monitorados na pesquisa foi observado que na maioria dos pontos, ocorreu grande número de violações do padrão de potabilidade estabelecido na Portaria do Ministério da Saúde nº 518/2004, principalmente para cloro residual livre, turbidez e pH. A única violação ocorrida para Coliformes totais e *E. coli* estava associada à concentração de cloro residual livre abaixo do limite estabelecido pela legislação. Quando esses indicadores microbiológicos estão presentes na água, há uma probabilidade da presença de microrganismos patogênicos causadores de diversas doenças infecciosas, como por exemplo, amebíase, giardíase, ascaridíase e esquistossomíase. Segundo a Organização Panamericana de Saúde (2001) existe a possibilidade de que metade de toda a população dos países em desenvolvimento seja acometida por pelo menos uma das doenças citadas anteriormente, sendo constatado que, a cada oito segundos, uma criança morre devido a doenças relacionadas à água.

O indicador cloro residual livre apresentou elevado número de violações do padrão de potabilidade, das quais 90 % estava associada a concentrações acima do valor máximo permissível (2,0 mg Cl₂/L) recomendado na legislação. Essa situação pode estar relacionada à hipótese da “operação intuitiva” do sistema de abastecimento de água da cidade, no qual os operadores aplicam elevadas doses de cloro por não conhecerem a dosagem ideal do mesmo. Essa hipótese pode ser observada ao verificar que as concentrações mínima e máxima encontradas para cloro residual no sistema foram de 0,00 e 6,90 mg Cl₂/L, respectivamente, indicando que a dosagem do desinfetante não é contínua. Em visitas realizadas à estação de tratamento foi possível observar que a balança de pesagem do cilindro de cloro estava quebrada e, além dessa constatação, os operadores do sistema mencionaram que os técnicos responsáveis pela realização dos testes para indicar a melhor dose do desinfetante, visitavam mensalmente o sistema.

A concentração de cloro livre acima do padrão de potabilidade favorece a formação de trihalometanos resultante da reação do cloro com substâncias orgânicas precursoras (ácidos fúlvicos e húmicos). Esse subproduto é conhecido mundialmente pelo potencial carcinogênico, embora estudos indiquem fraca correlação estatística da incidência

de câncer com estes subprodutos (OPAS, 2001). Segundo Meyer (1994), quanto maior a dosagem de cloro, maior será a probabilidade de formação desses compostos.

As menores concentrações de cloro residual livre foram observadas no ponto P3, situado no Centro de Ciências Agrárias/UFPB, localizado a cerca de 4 km das estações de tratamento de água; dentre os pontos monitorados esse é o mais distante em relação às estações de tratamento. Galdino (2009) verificou que a menor concentração de cloro residual livre no sistema de abastecimento da cidade de Campina Grande foi encontrada no ponto de coleta mais distante da ETA. Outro fato que pode estar relacionado, além da distância, é que as tubulações naquele trecho da rede de distribuição são muito antigas, constituídas principalmente por ferro fundido. De acordo com Salgado (2008), as concentrações de cloro vão diminuindo devido à reação com substâncias orgânicas ao longo das tubulações, a existência de biofilmes, além do processo de corrosão verificado principalmente nas tubulações de ferro.

Entre as espécies de cloro residual combinado, a tricloramina apresentou a maior concentração em todos os pontos monitorados. O cloro residual combinado está relacionado diretamente com as concentrações de nitrogênio amoniacal, evidenciando a existência dessa espécie na água, a qual pode ser proveniente do provável comprometimento da qualidade da água dos mananciais abastecedores, como também possíveis falhas nas operações unitárias das estações de tratamento, além de vazamentos na rede de distribuição. O sistema de abastecimento da cidade de Areia recebe água de dois mananciais (barragem Mazagão e barragem Rio do Canto), no entanto a barragem Rio do Canto recebe os resíduos provenientes do Centro de Ciências Agrárias da UFPB e do matadouro público da cidade, comprometendo a qualidade da água. Essa situação exige um plano de proteção para o manancial devido a sua importância para a população. Atualmente, os administradores do Centro de Ciências Agrárias estão adquirindo recursos para a construção de uma estação de tratamento de esgotos no Campus, favorecendo com essa ação a diminuição da carga poluidora lançada no manancial.

Em relação à turbidez foi verificada grande frequência de violações do padrão de potabilidade. No último horário de coleta o percentual de violações foi mais elevado variando de 60% a 94,4% de todas as amostras coletadas. O ponto P5, situado na Escola Estadual de Ensino Fundamental Monsenhor João Coutinho apresentou, no último horário de coleta, 94,4% das amostras acima do padrão recomendado pela Portaria (MS) 518/2004, o que pode estar associado às interrupções no abastecimento registradas nesse ponto de coleta. Outro fator que favorece essa situação é que, nesse horário, o sistema de distribuição está sendo abastecido pela ETA Rio do Canto que produz uma água mais turva, por apresentar falhas nas

unidades unitárias principalmente na filtração, sendo constatada em visitas realizadas ao local que a água passa com uma velocidade alta no leito filtrante.

Apesar da turbidez elevada, foi verificada ausência de Coliformes totais e *E. coli* em 99,66% das análises realizadas, situação que pode estar relacionada com as elevadas concentrações de cloro residual livre na água que, associado aos valores baixos de pH encontrados propiciam a predominância do ácido hipocloroso que é um excelente desinfetante. Mesmo com a ausência de indicadores de contaminação fecal em praticamente todas as amostras, a população da cidade prefere consumir água de outras fontes (poços subterrâneos e água mineral), pois a turbidez elevada favorece a objeção ao consumo da água de abastecimento da cidade.

O pH da água diminuiu com o período chuvoso (abril a agosto), mas ainda se manteve ácido após esse período. De todas as amostras coletadas, em todos os pontos de coleta, 68,76% estavam abaixo do valor mínimo ($\text{pH} < 6$) recomendado na legislação. Esse comportamento pode estar relacionado com o aumento da dosagem do coagulante, que ao se dissociar libera íons hidrogênio promovendo a diminuição do pH. Embora seja adicionado cal à água, sua dosagem não é suficiente para garantir que ao final do processo de tratamento, a água apresente um pH dentro da faixa recomendada pela legislação. Como não existem técnicos habilitados para verificar a melhor dosagem de coagulante, os operadores aplicam o produto com base na experiência adquirida, verificando visualmente se a água foi clarificada.

7.2 Qualidade da água versus operação e manutenção do sistema de abastecimento

A qualidade da água da cidade de Areia é afetada negativamente pelas falhas na operação e manutenção do sistema, sendo constatado que a forma “intuitiva” como o mesmo é operado, produz água que pode ou não atender o padrão de potabilidade. Essa falta de controle das operações unitárias do tratamento da água (principalmente na desinfecção) deixa a população suscetível a riscos de natureza biológica e química, de acordo com a dose de cloro aplicada. Os resultados da pesquisa comprovam que o excesso de cloro livre foi capaz de desinfetar a água mesmo com a turbidez elevada, no entanto a população está potencialmente suscetível ao risco químico ligado principalmente à exposição da mesma aos subprodutos da desinfecção como por exemplo os trihalometanos.

O sistema de abastecimento da cidade de Areia requer atenção especial das autoridades competentes, por causa das irregularidades na operação e manutenção do mesmo. O serviço de abastecimento deveria constituir técnicos qualificados para monitorá-lo em tempo integral, além de promover treinamento mais eficiente dos operadores do sistema. Com uma medida relativamente simples, haveria a diminuição dos custos para a companhia pois os produtos químicos seriam utilizados na dosagem adequada e a população não ficaria insatisfeita com a água fornecida, a qual, rotineiramente, é rejeitada pela elevada turbidez.

Outra medida que deveria ser tomada imediatamente, seria a implantação de um plano de amostragem para vigilância da qualidade da água pela Secretaria Municipal de Saúde. Ao monitorar o sistema em pontos estratégicos, conforme indicado na Diretriz Nacional do Plano de Amostragem da Vigilância em Saúde Ambiental relacionada à qualidade da água para consumo humano, o risco à saúde da população seria reduzido. O diagnóstico obtido a partir da vigilância, teoricamente, possibilita aos gestores tomarem as decisões em torno dos sistemas de abastecimento coletivos, no sentido de se exigirem as intervenções adequadas, quando ocorrerem não-conformidades com a qualidade da água (FREITAS & FREITAS, 2005).

7.3 Plano de amostragem da vigilância da qualidade da água

Conforme discutido anteriormente, a implantação de um plano de vigilância da qualidade da água para a cidade de Areia deveria ser providenciada imediatamente.

Segundo a Diretriz Nacional do Plano de Amostragem da Vigilância em Saúde Ambiental relacionada à qualidade da água para consumo humano, a elaboração de um plano de amostragem deve incluir:

- definição dos pontos de coleta de amostras;
- definição do número e frequência de amostras;
- definição dos indicadores a serem analisados.

Os pontos de coleta escolhidos para monitorar o sistema de abastecimento da cidade de Areia nesta pesquisa, seguiram os critérios recomendados na publicação supracitada, os quais foram localizados em pontos estratégicos como hospitais, escolas, pontas de rede e áreas sujeitas à pressão negativa na rede de distribuição. Com base nos

resultados obtidos, foi possível observar que esses pontos são representativos, pois na análise dos indicadores foi possível verificar a existência de diferenças significativas entre eles. Portanto, os responsáveis pela elaboração do plano de amostragem poderiam utilizar esses pontos para iniciar as atividades de vigilância.

Outra constatação feita com o trabalho que pode influenciar na implantação de um plano de amostragem, foi a existência de diferença significativa entre os três horários escolhidos para a monitoração, indicando que o plano de amostragem deve analisar no mínimo duas amostras por dia no mesmo ponto.

A diretriz referida anteriormente recomenda que o plano de amostragem deve incluir a análise de alguns destes indicadores:

- microbiológicos: coliformes totais, coliformes termotolerantes ou *Escherichia coli*
- físicos: turbidez
- químicos: cloro residual livre

Todos os municípios, independentemente de seu porte, devem implantar no mínimo a monitoração dos indicadores sentinelas (cloro residual livre e turbidez) nos planos de amostragem (BRASIL, 2006).

Dentre os indicadores mencionados, no presente trabalho foram analisados bactérias heterotróficas, coliformes totais e *E. coli*, turbidez e cloro residual livre. Com base nos resultados das análises bacteriológicas da água, foi comprovado que a monitoração dos indicadores sentinelas (cloro residual livre e turbidez) fornece um resultado confiável para garantir a potabilidade da água de abastecimento. Mesmo quando a turbidez esteve elevada, foi constatada ausência de coliformes, exigindo para isso, um residual de cloro livre no sistema de abastecimento. Logo, em cidades de pequeno porte, onde os recursos (humanos e financeiros) são limitados para efetuar a vigilância da qualidade da água, esses dois indicadores podem assumir grande valor na monitoração do sistema de abastecimento, pois são de fácil execução, rápidos na sua resposta e relativamente baratos quando comparados às análises microbiológicas.

Diante do que foi exposto, o presente trabalho propõe a elaboração de um plano de amostragem para a cidade de Areia baseado na monitoração dos indicadores sentinelas, observando que as amostras devem ser coletadas no mínimo duas vezes em cada ponto de amostragem.

8.0 CONCLUSÃO

A água distribuída à população da cidade de Areia (PB) apresentou elevado número de violações do padrão de potabilidade estabelecido pela Portaria nº 518/2004, principalmente para os indicadores cloro residual livre, turbidez e pH.

Em relação aos indicadores microbiológicos (Coliformes totais e *E. coli*) foi verificada apenas uma violação, esta associada à concentração de cloro residual livre abaixo do limite estabelecido na legislação. A contagem de bactérias heterotróficas esteve em conformidade com o padrão de potabilidade em todos os pontos de coleta.

Do total de cloro residual presente na água a maior parte correspondeu ao cloro livre, embora tenham sido verificadas concentrações elevadas do cloro combinado, principalmente a tricloramina, denotando a presença de compostos nitrogenados na água.

Em todos os pontos monitorados, a maior frequência de violações estava relacionada a concentrações de cloro livre acima do valor máximo estabelecido pela legislação (2,0 mg Cl₂/L), indicando supercloração da água, situação essa que expõe a população aos subprodutos da desinfecção, principalmente os trihalometanos.

No ponto mais afastado da rede de distribuição (P3 – situado no CCA/UFPB) foram registradas as menores concentrações de cloro residual livre indicando sua condição de ponto crítico do sistema de abastecimento.

O ponto P5 (situado na E. E. E. F. Monsenhor João Coutinho), caracterizado por freqüentes interrupções do fornecimento de água, apresentou maior frequência de violações do padrão de turbidez sendo, por isso, considerado outro ponto crítico do sistema de abastecimento.

Os resultados da pesquisa revelaram que o pH da água é predominantemente ácido, violando o padrão de potabilidade em 68,76% das amostras analisadas em todos os pontos de coleta.

Com a análise dos dados foi possível verificar que, quando a ETA Rio do Canto abastece o sistema de distribuição (no último horário de coleta), a população recebe água mais turva e com menor concentração de cloro residual livre.

Com base nos resultados da pesquisa foi possível observar que as violações do padrão de potabilidade estavam associadas à operação “intuitiva” do sistema de abastecimento de água. A adoção de medidas simples como contratação de técnicos qualificados e a capacitação dos operadores, beneficiaria o serviço de abastecimento público de água e a população.

Tomando como base os resultados das análises bacteriológicas da água, pode ser concluído que apenas a monitoração dos indicadores sentinelas (cloro residual livre e turbidez) constitui uma base confiável para a vigilância da qualidade da água de abastecimento, tendo sido verificado que, mesmo quando a turbidez esteve elevada, houve ausência de bactérias coliformes, em função da manutenção de residuais de cloro livre.

9.0 RECOMENDAÇÕES

Diante das análises realizadas, é recomendável que a empresa responsável pelo funcionamento do sistema de distribuição de água da cidade ofereça melhores condições de operação e manutenção de suas unidades componentes, tais como, estações de tratamento e rede de distribuição, observando que deve ser oferecida atenção especial às condições de operação e manutenção da ETA – Rio do Canto.

A empresa poderia implantar programas de capacitação dos operadores e cogitar a possibilidade de contratação de um técnico qualificado para o sistema de abastecimento da cidade.

É recomendável a implantação de um plano de vigilância da qualidade da água, pela Secretaria Municipal de Saúde, para avaliar continuamente os riscos associados ao consumo da água distribuída na cidade. Para isso, é necessário o treinamento de recursos humanos para efetivar a vigilância da qualidade da água.

O plano de vigilância recomendado, independente do controle exercido pelo serviço de abastecimento, pode ser implantado com a monitoração dos indicadores sentinelas, os quais fornecem uma base confiável para a vigilância da qualidade da água de abastecimento.

É recomendável a continuidade de estudos nesse sentido, inclusive no aperfeiçoamento e validação da proposta do plano de amostragem, facilitando o desenvolvimento das ações de vigilância na cidade de Areia (PB).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ÁLVARES, M. L. P. **Qualidade bacteriológica da água distribuída e consumida antes e após o programa Bahia Azul : fatores determinantes na cidade do Salvador**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana) – Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia Salvador, 2005.

APHA, AWWA, WPCF. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 20 ed., Washington, D.C: American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation, 1999. 1220p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) - **NBR 12.211**: Estudos de concepção de sistemas públicos de abastecimento de água. Rio de Janeiro: ABNT, 1989.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) - **NBR 12.216**: Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

BÁGGIO, M. A. **Gerenciamento da operação de sistemas de abastecimento de água: nova filosofia**. Londrina: SANEPAR, 1998. 21p.

BARBOSA, P. S. F.; COSTA, A. A.; SANTOS JÚNIOR, J. B. S. Um algoritmo de programação linear para análise de redes hidráulicas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. V. 4; n. 4; p. 75 – 84; 1999.

BASTOS, R. K. X., BEVILACQUA, P. D., NASCIMENTO, L. E. Coliformes como indicadores da qualidade da água. Alcance e limitações. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 27, 2000, Porto Alegre. **Anais...** Rio de Janeiro: ABES, 2000.

BASTOS, R. K. X.; HELLER, L.; BEVILACQUA, P. D.; PADUA, V. L.; BRANDÃO, C. C. S. Legislação sobre controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano. A experiência brasileira comparada à panamericana. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL, 29, 2004, San Juan, AIDS. **Anais...** Rio de Janeiro: ABES, p. 22 – 27, 2004.

BEVILACQUA, P. D.; BASTOS, R. K. X.; CARMO, R. F.; OLIVEIRA, D. C. de;; SOARES, A. C. C. Qualidade da água para consumo humano: importância das ações integradas de controle e vigilância. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 24, 2007. Belo Horizonte. **Anais...** Rio de Janeiro: ABES, 2007.

BORGES, J.T; SPARRAPAN, R.; GUIMARÃES, J. R.; EBERLIN, M. N. A influência da amônia no potencial de formação de trihalometanos. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE INGENIERIA SANITÁRIA Y AMBIENTAL. 28, 2002, Canun, AIDS, **Anais...**, 2002.

BOTERO, W. G.; SANTOS, A.; OLIVEIRA, L. C. O.; ROCHA, J. C. Caracterização de lodo gerado em estações de tratamento de água: perspectivas de aplicação agrícola **Revista Química Nova**, v. 32, n.8, 2009.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico**. Rio de Janeiro, 2002.

BRASIL. Ministério da Saúde, **Portaria 518**. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. Ministério da Saúde, 2004.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Diretriz nacional do plano de amostragem da vigilância em saúde ambiental relacionada à qualidade da água para consumo humano**, Brasília : Ministério da Saúde, 2006a; 60 p.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano**. Brasília: Ministério da Saúde, 2006b. 212 p.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Inspeção sanitária em abastecimento de água / Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde**. – Brasília: Ministério da Saúde, 2006c, 84 p.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Coordenação geral de vigilância em saúde ambiental – CGVAM. **Relatório das atividades vigiagua 1998 a 2005**. – Brasília: Ministério da Saúde, 2006d, 39 p.

CALIJURI, M. L.; SANTIAGO, A. da F.; CAMARGO, R. de A. MOREIRA NETO, R. F. Estudo de indicadores de saúde ambiental e de saneamento em cidade do Norte do Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.14, n.1; 2009.

CARMO, R. F.; BEVILACQUA, P. D.; BASTOS, R. K. X. Vigilância da qualidade da água para consumo humano: abordagem qualitativa da identificação de perigos. **Engenharia Sanitária e Ambiental** v.13 n.4;2008, p. 426-434.

CARRIJO, I.B; REIS, L. F. R. Extração de regras operacionais ótimas de sistemas de distribuição de água através de algoritmos genéticos e aprendizado de máquina. In:

SEMINÁRIO HISPANO-BRASILEIRO SOBRE SISTEMAS DE ABASTECIMENTO URBANO DE ÁGUA JOÃO PESSOA (BRASIL), 2004.

CEBALLOS, B. O. de; DANIEL, L. A.; BASTOS, K. X. R. Tratamento de água para consumo humano: panorama mundial e ações do Prosab. In: PÁDUA, V. L. de. **Remoção de microorganismos emergentes e microcontaminantes orgânicos no tratamento de água para consumo humano**. Rio de Janeiro: ABES, 2009

COSTA, R. H. R.; MEDRI, W. DA; SANTOS, D. M. DOS. Controle estatístico de processo na rede pública de abastecimento de água. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE INGENIERIA SANITÁRIA Y AMBIENTAL. 28, 2002, AIDS, **Anais...**, 2002.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução nº 357 de 15 de março de 2005**, Brasília, 2005.

D'AGUILA, P. S.; ROQUE, O. C. C.; MIRANDA, C. A. S.; FERREIRA, A. P. Avaliação da qualidade de água para abastecimento público do Município de Nova Iguaçu. **Cadernos de Saúde Pública**, v.16, p.791-798, 2000.

DANIEL, L. A. **Processos de Desinfecção e Desinfetantes Alternativos na Produção de Água Potável**. Prosab: São Carlos, 2001.

DI BERNARDO, L. **Tecnologias de tratamento de Água com filtração rápida**. In: SEMINARIO TALLER SELECCIÓN DE TECNOLOGÍA PARA EL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DE AGUA. Santiago de Cali, 2000.

DI BERNARDO, L.; BRANDÃO, C. C. S.; HELLER, L. **Tratamento de águas de abastecimento por filtração em múltiplas etapas**. Rio de Janeiro: ABES; 1999; 114p.

DUARTE, A. de S.; CUNHA, A.C. da; BRITO, D.C. de. Monitoramento da qualidade da água utilizada para consumo humano no bairro Santa Rita, Macapá, Amapá, Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 25, 2009, Recife, **Anais...** Rio de Janeiro: ABES, 2009.

FERNANDES, N. M. G. **Influência do pH de coagulação e dosagem de sulfato de alumínio na remoção de oocistos de cryptosporidium por filtração direta descendente**. 2007. 144f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos). Universidade de Brasília, 2007.

FERREIRA JÚNIOR, L. G **Monitoramento e avaliação da contaminação de água potável através do método do substrato definido-cromogênico a nível municipal do SUS**. 2002; 117ff. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária e Saúde Pública). Fundação Oswaldo Cruz, Escola Nacional de Saúde Pública, 2002.

FREITAS, M. B.; FREITAS, C. M. de. A vigilância da qualidade da água para consumo humano: desafios e perspectivas para o Sistema Único de Saúde. **Ciência Saúde Coletiva**; Rio de Janeiro; v. 10; n. 4; 2005.

GALDINO, F. A. G. **Indicadores sentinelas para a formulação de um plano de amostragem de vigilância da qualidade da água de abastecimento de Campina Grande (PB)**. Campina Grande - PB: UFCG, 2009. 110f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária e Ambiental). Universidade Federal de Campina Grande; 2009.

HELLER, L. Abastecimento de água, sociedade e ambiente. In: HELLER, L.; PÁDUA, V. L. de. **Abastecimento de água para consumo humano**. Belo Horizonte; UFMG; 2006; 855p.

JÚLIO, M. de; FIORAVANTE, D. A.; FILHO, O. S.; JULIO, T. S. de; OROSKI, F. I. Influência dos parâmetros de mistura rápida, floculação e decantação no tratamento da água afluyente à eta de ponta grossa/PR. **Revista Engenharia Ambiental**; Espírito Santo do Pinhal; v. 6; n. 2; p. 038-054; 2009.

LIBÂNIO, M.; PEREIRA, M.M, VORCARO, B. M.; REIS, R. C. dos; HELLER, L. *Avaliação do emprego de sulfato de alumínio e do cloreto férrico na coagulação de águas naturais de turbidez média e cor elevada*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 19, 1997. **Anais...** Rio de Janeiro: ABES, 1997.

MERTEN, G. H., MINELLA, J. P. Qualidade da água em bacias hidrográficas rurais: um desafio atual para a sobrevivência futura. **Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável**; Porto Alegre, v.3, n.4, 2002.

MEYER, S. T. O uso de cloro na desinfecção de águas, a formação de trihalometanos e os riscos potenciais à saúde pública. **Caderno de Saúde Pública**, Rio de Janeiro; v.10.; n.1; p.99-110; 1994.

ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DA SAÚDE. Informe regional sobre avaliação 2000 na região da Américas: água potável e saneamento, estado atual e perspectivas. Washington: Organização Pan-Americana da Saúde; 2001.

PÁDUA, V. L. Introdução ao tratamento de água. In: HELLER, L.; PÁDUA, V. L. de. **Abastecimento de água para consumo humano**. Belo Horizonte; UFMG; 2006; 855p.

PÁDUA, V.L; FERREIRA, A. C. da. Qualidade da água para consumo humano. In: HELLER, L.; PÁDUA, V. L. de. **Abastecimento de água para consumo humano**. Belo Horizonte; UFMG; 2006; 855p.

PARSEKIAN, M. P. S. **Análise e proposta de formas de gerenciamento de estações de tratamento de águas de abastecimento completo em cidades de porte médio do estado de São Paulo**. Dissertação. 1998. 183f. (Mestrado em Hidráulica e Saneamento). Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 1998.

PATERNIANI, J. E. S; CONCEIÇÃO, C. H. Z. Eficiência da pré-filtração e filtração lenta no tratamento de água para pequenas comunidades. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v.1, n.1, 2004.

PAZ, L. P. S. **Modelo conceitual de tecnologias de tratamento de comunidades de pequeno porte**. 2007.398f. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento), Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2007.

PINTO, V.G; HELLER, L.; BASTOS, R. K. X; PÁDUA, V. L. Discussão comparativa das legislações sobre controle da qualidade da água para consumo humano em países do continente americano. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. 23, 2005, Campo Grande, **Anais...** Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005.

QUEIROGA, I. V.; SANTOS, C. R. A.; CARNEIRO, L. C. Ocorrência de Coliformes Totais na Presença de Cloro com Residual mínimo no Sistema de Distribuição Público de Água Potável da Cidade de Abadia de Goiás. **Revista News Lab**; 83ed; 2007.

SALGADO, S. P. T. **Estudo dos parâmetros de decaimento do cloro residual em sistema de distribuição de água tratada considerando vazamento**. 2008. 161f. Dissertação (Mestrado Hidráulica e Saneamento). Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2008.

SANCHES, S. M.; SILVA, C. H. T. de P.; VIEIRA, E. M. Agentes desinfetantes alternativos para o tratamento de água. **Revista Química Nova na Escola**; n. 17; 2003.

SILVA; S. A.; OLIVEIRA, R. **Manual de análise físico-químicas de águas de abastecimento e residuárias**. Campina Grande, PB: O Autor, 2001. 266p.

SOKAL, R. R.; ROHLF, F. J. **Biometry**. 4. ed. New York: W. H. Freeman and Company, 1995. 850 p.

SOUZA, R. G. de; CORDEIRO, J. S. Quantificação de sólidos em estação de tratamento de água convencional de ciclo completo com decantador de alta taxa. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23, 2005, Campo Grande, **Anais...** Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005.

TANGERINO, E. P.; MATSUMOTO, T.; DALL'AGLIO SOBRINHO, M. Floculador de manta de lodo associado a decantador laminar em tratamento de água. In: CONGRESSO INTERAMERICANA DE INGENIARIA SANITÁRIA Y AMBIENTAL, 26; Lima; 1998.

VALÊNCIA, J. A. **Teoria y práctica de La purificación del agua**. Colombia: McGraw-Hill 3.ed., 2000.

WHO (World Health Organization) 1996. **Guidelines for drinking-water quality**, vol. 2. WHO, Geneva, 2004.

ANEXO

Sonia Vieira

Análise de Variância (Anova)



EDITORA ATLAS S.A.
Rua Conselheiro Nébias, 1384 (Campos Elísios)
01203-904 São Paulo (SP)
Tel.: (0__11) 3357-9144 (PABX)
www.EditoraAtlas.com.br

SÃO PAULO
EDITORA ATLAS S.A. - 2006

Nº de graus de liberdade do denominador	Nº de graus de liberdade do numerador								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	161	200	216	225	230	234	237	239	241
2	18,5	19,0	19,2	19,2	19,3	19,3	19,4	19,4	19,4
3	10,1	9,55	9,28	9,12	9,01	8,94	8,89	8,85	8,81
4	7,71	6,94	6,59	6,39	6,26	6,16	6,09	6,04	6,00
5	6,61	5,79	5,41	5,19	5,05	4,95	4,88	4,82	4,77
6	5,99	5,14	4,76	4,53	4,39	4,28	4,21	4,15	4,10
7	5,59	4,74	4,35	4,12	3,97	3,87	3,79	3,73	3,68
8	5,32	4,46	4,07	3,84	3,69	3,58	3,50	3,44	3,39
9	5,12	4,26	3,86	3,63	3,48	3,37	3,29	3,23	3,18
10	4,96	4,10	3,71	3,48	3,33	3,22	3,14	3,07	3,02
11	4,84	3,98	3,59	3,36	3,20	3,09	3,01	2,95	2,90
12	4,75	3,89	3,49	3,26	3,11	3,00	2,91	2,85	2,80
13	4,67	3,81	3,41	3,18	3,03	2,92	2,83	2,77	2,71
14	4,60	3,74	3,34	3,11	2,96	2,85	2,76	2,70	2,65
15	4,54	3,68	3,29	3,06	2,90	2,79	2,71	2,64	2,59
16	4,49	3,63	3,24	3,01	2,85	2,74	2,66	2,59	2,54
17	4,45	3,59	3,20	2,96	2,81	2,70	2,61	2,55	2,49
18	4,41	3,55	3,16	2,93	2,77	2,66	2,58	2,51	2,46
19	4,38	3,52	3,13	2,90	2,74	2,63	2,54	2,48	2,42
20	4,35	3,49	3,10	2,87	2,71	2,60	2,51	2,45	2,39
21	4,32	3,47	3,07	2,84	2,68	2,57	2,49	2,42	2,37
22	4,30	3,44	3,05	2,82	2,66	2,55	2,46	2,40	2,34
23	4,28	3,42	3,03	2,80	2,64	2,53	2,44	2,37	2,32
24	4,26	3,40	3,01	2,78	2,62	2,51	2,42	2,36	2,30
25	4,24	3,39	2,99	2,76	2,60	2,49	2,40	2,34	2,28
26	4,23	3,37	2,98	2,74	2,59	2,47	2,39	2,32	2,27
27	4,21	3,35	2,96	2,73	2,57	2,46	2,37	2,31	2,25
28	4,20	3,34	2,95	2,71	2,56	2,45	2,36	2,29	2,24
29	4,18	3,33	2,93	2,70	2,55	2,43	2,35	2,28	2,22
30	4,17	3,32	2,92	2,69	2,53	2,42	2,33	2,27	2,21
40	4,08	3,23	2,84	2,61	2,45	2,34	2,25	2,18	2,12
60	4,00	3,15	2,76	2,53	2,37	2,25	2,17	2,10	2,04
120	3,92	3,07	2,68	2,45	2,29	2,17	2,09	2,02	1,96
∞	3,84	3,00	2,60	2,37	2,21	2,10	2,01	1,94	1,88

graus de liberdade do denominador	Nº de graus de liberdade do numerador									
	10	12	15	20	24	30	40	60	120	∞
1	242	244	246	248	249	250	251	252	253	254
2	19,4	19,4	19,4	19,4	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5	19,5
3	8,79	8,74	8,70	8,66	8,64	8,62	8,59	8,57	8,55	8,53
4	5,96	5,91	5,86	5,80	5,77	5,75	5,72	5,69	5,66	5,63
5	4,74	4,68	4,62	4,56	4,53	4,50	4,46	4,43	4,40	4,36
6	4,06	4,00	3,94	3,87	3,84	3,81	3,77	3,74	3,70	3,67
7	3,64	3,57	3,51	3,44	3,41	3,38	3,34	3,30	3,27	3,23
8	3,35	3,28	3,22	3,15	3,12	3,08	3,04	3,01	2,97	2,93
9	3,14	3,07	3,01	2,94	2,90	2,86	2,83	2,79	2,75	2,71
10	2,98	2,91	2,85	2,77	2,74	2,70	2,66	2,62	2,58	2,54
11	2,85	2,79	2,72	2,65	2,61	2,57	2,53	2,49	2,45	2,40
12	2,75	2,69	2,62	2,54	2,51	2,47	2,43	2,38	2,34	2,30
13	2,67	2,60	2,53	2,46	2,42	2,38	2,34	2,30	2,25	2,21
14	2,60	2,53	2,46	2,39	2,35	2,31	2,27	2,22	2,18	2,13
15	2,54	2,48	2,40	2,33	2,29	2,25	2,20	2,16	2,11	2,07
16	2,49	2,42	2,35	2,28	2,24	2,19	2,15	2,11	2,06	2,01
17	2,45	2,38	2,31	2,23	2,19	2,15	2,10	2,06	2,01	1,96
18	2,41	2,34	2,27	2,19	2,15	2,11	2,06	2,02	1,97	1,92
19	2,38	2,31	2,23	2,16	2,11	2,07	2,03	1,98	1,93	1,88
20	2,35	2,28	2,20	2,12	2,08	2,04	1,99	1,95	1,90	1,84
21	2,32	2,25	2,18	2,10	2,05	2,01	1,96	1,92	1,87	1,81
22	2,30	2,23	2,15	2,07	2,03	1,98	1,94	1,89	1,84	1,78
23	2,27	2,20	2,13	2,05	2,01	1,96	1,91	1,86	1,81	1,76
24	2,25	2,18	2,11	2,03	1,98	1,94	1,89	1,84	1,79	1,73
25	2,24	2,16	2,09	2,01	1,96	1,92	1,87	1,82	1,77	1,71
26	2,22	2,15	2,07	1,99	1,95	1,90	1,85	1,80	1,75	1,69
27	2,20	2,13	2,06	1,97	1,93	1,88	1,84	1,79	1,73	1,67
28	2,19	2,12	2,04	1,96	1,91	1,87	1,82	1,77	1,71	1,65
29	2,18	2,10	2,03	1,94	1,90	1,85	1,81	1,75	1,70	1,64
30	2,16	2,09	2,01	1,93	1,89	1,84	1,79	1,74	1,68	1,62
40	2,08	2,00	1,92	1,84	1,79	1,74	1,69	1,64	1,58	1,51
60	1,99	1,92	1,84	1,75	1,70	1,65	1,59	1,53	1,47	1,39
120	1,91	1,83	1,75	1,66	1,61	1,55	1,50	1,43	1,35	1,25
∞	1,83	1,75	1,67	1,57	1,52	1,46	1,39	1,32	1,22	1,00

Interpolações devem ser feitas com base nos recíprocos dos graus de liberdade (interpolação harmônica).
 Fonte: SCHEFFÉ, H. *The analysis of variance*. New York: John Wiley, 1959.