



# **UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA**

Centro de Ciências e Tecnologia  
Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental

EMANUEL CAMPOS DOS SANTOS

LEVANTAMENTO DE INDICADORES SENTINELAS PARA A  
VIGILÂNCIA DA QUALIDADE DA ÁGUA DE  
ABASTECIMENTO DE CAMPINA GRANDE (PB)

Campina Grande/PB  
2011

**EMANUEL CAMPOS DOS SANTOS**

**LEVANTAMENTO DE INDICADORES SENTINELAS PARA A  
VIGILÂNCIA DA QUALIDADE DA ÁGUA DE  
ABASTECIMENTO DE CAMPINA GRANDE (PB)**

Monografia apresentada no Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba, referente ao Trabalho Acadêmico Orientado, em cumprimento às exigências para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental.

**Orientadora:** Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Celeide Maria Belmont Sabino Meira

**Campina Grande/PB  
2011**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL – UEPB

S2371 Santos, Emanuel Campos dos.  
Levantamento de indicadores sentinelas para a vigilância da qualidade da água de abastecimento de Campina Grande (PB) [manuscrito] / Emanuel Campos dos Santos. – 2011.  
66 f. : il. : color.

Digitado.  
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Centro de Ciências e Tecnologia, 2011.  
“Orientação: Profa. Dra. Celeide Maria Belmont Sabino Meira, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental.”

1. Qualidade da água. 2. Tratamento de água. 3. Abastecimento de água. I. Título.

21. ed. CDD 628.1

**EMANUEL CAMPOS DOS SANTOS**

**LEVANTAMENTO DE INDICADORES SENTINELAS PARA A  
VIGILÂNCIA DA QUALIDADE DA ÁGUA DE  
ABASTECIMENTO DE CAMPINA GRANDE (PB)**

MONOGRAFIA APROVADA EM: 17 / 11 / 2011.

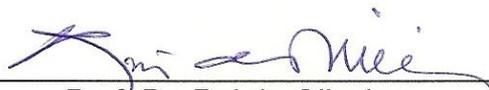
NOTA 9,6 (nove vírgula seis)

**BANCA EXAMINADORA**



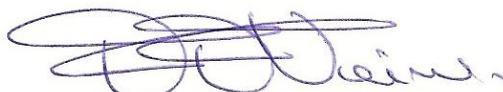
---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Celeide Maria Belmont Sabino Meira  
Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – CCT/UEPB  
Orientadora



---

Prof. Dr. Rui de Oliveira  
Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – CCT/UEPB  
Examinador



---

Prof. Dr. Fernando Fernandes Vieira  
Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – CCT/UEPB  
Examinador

*A Deus que nunca me faltou em instante algum, sendo o alicerce da minha vida, sem Ele não teria sido possível a realização desse trabalho.*

## **AGRADECIMENTOS**

Ao ser supremo que rege todas as maravilhas do mundo e guia todos os meus passos durante a minha passagem por este plano.

A minha família por acreditar que o único agente de transformação humana e social é a educação.

A minha noiva pelo seu companheirismo e compreensão durante esta fase importante da minha vida.

Aos meus grandes MESTRES, Rui de Oliveira, Celeide Maria Belmont Sabino Meira e Fernando Fernandes Vieira, por terem sido, nestes cinco anos, fonte de inspiração para minha carreira profissional e para minha vida pessoal.

A todos os voluntários, alunos de iniciação científica, mestrados deste projeto e em especial a Thassio Nóbrega, Juscelino, Clarissa, Cayo, Ogata pela disponibilidade e dedicação em aprender e disseminar conhecimento.

Aos meus companheiros de turma e eternos amigos (Ogata, Narcísio, Abílio, Pablo, Laíse, Flavia, Franklin, Cassio, Elder, Kalina, Lucas, Herculy, Cícero) que dedicaram grande parte das tardes estudando, com o compromisso de sair desta universidade com o máximo de aproveitamento possível, demonstrando que o conhecimento deve ser disseminado para todos que querem realmente aprender.

Aos professores que realmente passaram não só conhecimentos técnicos, mas sim, experiências de vida.

A Universidade Estadual da Paraíba pelo investimento em educação que propicia às camadas mais frágeis da sociedade educação de boa qualidade.

A todos os diretores das escolas, que permitiram a utilização de tais recintos como ponto de apoio estrutural e coleta de amostras.

Enfim, a todos os que propiciaram e ajudaram na minha titulação de bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental.

## RESUMO

A adequação da água a um determinado uso deve levar em consideração aspectos quantitativos e qualitativos, suas características físicas, químicas e biológicas, cujas concentrações referenciais são fixadas por órgãos diversos, responsáveis pelo gerenciamento de cada uso particular da água. Este trabalho teve como objetivo a monitoração dos indicadores sentinelas e auxiliares no sistema de distribuição de água de Campina Grande (PB), que abastece cerca de 400.000 pessoas, como contribuição para a formulação do plano municipal de amostragem da vigilância da qualidade da água. O plano de pesquisa foi desenvolvido ao longo de um período total de 24 (vinte e quatro) meses. Inicialmente foi feito um estudo pormenorizado do sistema de abastecimento de água de Campina Grande, visando à descrição e caracterização geográfica, hidráulica e demográfica, particularmente da rede de distribuição nas suas zonas de pressão. Em seguida, foi procedida a escolha de 11 (onze) pontos estratégicos (3 nas zonas de pressão A, C, D e 2 zona B) para a coleta de amostras e análise, *in loco*, dos indicadores sentinelas. Para garantir a distribuição uniforme das coletas no período de amostragem, cada ponto de coleta foi amostrado uma vez a cada duas semanas, em dias variados, ao longo de 50 (cinquenta) semanas, às 06h00min, entre 11 e 13h00min e 17h00min. Os resultados da pesquisa contribuíram para uma melhor percepção da importância da vigilância da qualidade da água, como um segundo foco de atenção, ao lado do outro foco representado pelo controle da qualidade da água, e devem levar a uma mudança de atitude da sociedade com relação à qualidade da água potável, fazendo-a valorizar mais o aspecto do controle e sentir-se mais comprometida com o aspecto da vigilância. Além de reunir elementos para subsidiar a implantação do plano municipal de vigilância da qualidade da água de Campina Grande e de outras localidades brasileiras com populações acima de 100.000 habitantes.

**PALAVRAS-CHAVE:** Qualidade da água. Cloro residual livre. Cloro residual combinado.

## ABSTRACT

The suitability of water for a specific use must take into account quantitative and qualitative aspects, their physical, chemical and biological reference points whose concentrations are determined by various agencies responsible for managing each particular use of water. This study aimed at monitoring sentinel indicators and auxiliary water supply system of Campina Grande (PB), which supplies about 400,000 people, as a contribution to the formulation of the municipal plan of surveillance sampling of water quality. The research plan was developed over a total period of 24 (twenty four) months. Initially, we made a detailed study of the water supply system of Campina Grande, in order to describe and characterize geographic, demographic, and hydraulic, particularly in the distribution network in their areas of pressure. Then proceed to choose was 11 (eleven) at strategic points (three pressure zones A, C, D and B Zone 2) for the sampling and analysis, in situ, sentinel indicators of their areas of pressure. To ensure uniform distribution of samples during the sampling period, each collection point was sampled once every two weeks, on different days over 50 (fifty) weeks, at 06h00min, between 11h00min and 13h00min and 17h00min. The research results have contributed to a better understanding of the importance of monitoring water quality, as a second focus of attention, along with other focus represented by the control of water quality, and should lead to a change in attitude of society to the quality of drinking water, causing it to appreciate more the aspect of control and feel more committed to the issue of surveillance. In addition to gathering evidence to support the implementation of the municipal surveillance of water quality de Campina Grande and other Brazilian cities with populations over 100,000.

**KEYWORDS:** Quality of drinking water, residual chlorine, combined residual chlorine residue.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 2.1</b> - Esquema de referência para o estabelecimento do plano de segurança da qualidade da água (como proposta em WHO, 2004).....	20
<b>Figura 2.2</b> - Número de parâmetros contemplados no padrão de potabilidade estabelecido pelas portarias brasileiras.....	26
<b>Figura 2.3</b> - Efeito do pH na distribuição do ácido hipocloroso e íon hipoclorito na água.....	29
<b>Figura 3.1</b> - Rede de distribuição de água de Campina Grande.....	33
<b>Figura 4.1</b> - Etapa estrutural completa do método DPD-SFA.....	39
<b>Figura 4.2</b> - Reação do iodo liberado pela reação entre o cloro cominado e iodeto.....	40
<b>Figura 5.1</b> - Variação temporal dos indicadores sentinelas no Ponto P8.....	41
<b>Figura 5.2</b> - Variação temporal dos indicadores sentinelas no Ponto P9.....	42
<b>Figura 5.3</b> - Variação temporal dos indicadores sentinelas no Ponto P10.....	42
<b>Figura 5.4</b> - Variação temporal dos indicadores auxiliares no Ponto P8.....	43
<b>Figura 5.5</b> - Variação temporal dos indicadores auxiliares no Ponto P9.....	44
<b>Figura 5.6</b> - Variação temporal dos indicadores auxiliares no Ponto P10.....	45
<b>Figura 5.7</b> - Variação temporal dos indicadores sentinelas no ponto P5.....	46
<b>Figura 5.8</b> - Variação temporal dos indicadores sentinelas no ponto P6.....	46
<b>Figura 5.9</b> - Variação temporal dos indicadores auxiliares no Ponto P5.....	47
<b>Figura 5.10</b> -Variação temporal dos indicadores auxiliares no Ponto P6.....	48
<b>Figura 5.11</b> -Variação temporal dos indicadores sentinelas no ponto P4.....	49
<b>Figura 5.12</b> -Variação temporal dos indicadores sentinelas no ponto P7.....	49
<b>Figura 5.13</b> -Variação temporal dos indicadores sentinelas no ponto P11.....	50
<b>Figura 5.14</b> -Variação temporal dos indicadores auxiliares no Ponto P4.....	52
<b>Figura 5.15</b> -Variação temporal dos indicadores auxiliares no Ponto P7.....	52
<b>Figura 5.16</b> -Variação temporal dos indicadores auxiliares no Ponto P11.....	53
<b>Figura 5.17</b> -Variação temporal dos indicadores sentinelas no ponto P1.....	54
<b>Figura 5.18</b> -Variação temporal dos indicadores sentinelas no ponto P2.....	54
<b>Figura 5.19</b> -Variação temporal dos indicadores sentinelas no ponto P3.....	54
<b>Figura 5.20</b> -Variação temporal dos indicadores auxiliares no Ponto P1.....	55
<b>Figura 5.21</b> -Variação temporal dos indicadores auxiliares no Ponto P2.....	56
<b>Figura 5.22</b> -Variação temporal dos indicadores auxiliares no Ponto P3.....	57
<b>Figura 6.10</b> -Complexo formado pela ação da ortotolidina.....	62

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 2.1</b> - Discriminação da natureza dos parâmetros das portarias nacionais.....	26
<b>Tabela 2.2</b> - Indicadores de qualidade da água apresentados na Portaria nº 518/2004.....	27
<b>Tabela 3.1</b> - Caracterização dos reservatórios de distribuição de água, Zona de Pressão A.....	33
<b>Tabela 3.2</b> - Caracterização dos reservatórios de distribuição de água, Zona de Pressão B.....	34
<b>Tabela 3.3</b> - Caracterização dos reservatórios de distribuição de água, Zona de Pressão C.....	34
<b>Tabela 3.4</b> - Caracterização dos reservatórios de distribuição de água, Zona de Pressão D.....	35
<b>Tabela 4.1</b> - Localização dos pontos de coletas.....	36

## SUMÁRIO

1.0	INTRODUÇÃO.....	12
1.1	Objetivos.....	15
1.1.1	<i>Objetivo geral</i> .....	15
1.1.2	<i>Objetivos específicos</i> .....	15
2.0	REVISÃO DE LITERATURA.....	16
2.1	Sistemas de abastecimento de água.....	16
2.2	Realidade brasileira quanto à operação, manutenção e qualidade da água de abastecimento público.....	18
2.3	Plano de Segurança da água (PSA).....	19
2.4	Vigilância e controle da qualidade da água.....	22
2.5	Evolução do padrão de potabilidade no Brasil.....	25
2.6	Indicadores de qualidade da água.....	26
2.6.1	<i>Indicadores Sentinelas</i> .....	28
2.6.2	<i>Indicadores Complementares</i> .....	30
3.0	SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DE CAMPINA GRANDE.....	32
4.0	MATERIAL E MÉTODOS.....	36
4.1	Coleta de Dados.....	37
4.1.1	<i>Turbidez</i> .....	37
4.1.2	<i>Cloro residual livre (CRL)</i> .....	38
4.1.3	<i>Cloro residual combinado (CRC)</i> .....	39
4.1.4	<i>Potencial Hidrogeniônico (pH)</i> .....	40
4.2	Procedimentos estatísticos.....	40
5.0	RESULTADOS OBTIDOS.....	41
5.1	Pontos referentes à zona de pressão A (P8, P9, P10).....	41
5.1.1	<i>Indicadores sentinelas (CRL, Turbidez)</i> .....	41
5.1.2	<i>Indicadores auxiliares (CRC, pH)</i> .....	43
5.2	Pontos referentes à zona de pressão B (P5, P6).....	45
5.2.1	<i>Indicadores sentinelas (CRL, Turbidez)</i> .....	45
5.2.2	<i>Indicadores auxiliares (CRC, pH)</i> .....	47
5.3	Pontos referentes à zona de pressão C (P4, P7, P11).....	49
5.3.1	<i>Indicadores sentinelas (CRL, Turbidez)</i> .....	49
5.3.2	<i>Indicadores auxiliares (CRC, pH)</i> .....	50
5.4	Pontos referentes à zona de pressão D (P1, P2, P3).....	53
5.4.1	<i>Indicadores sentinelas (CRL, Turbidez)</i> .....	53
5.4.2	<i>Indicadores auxiliares (CRC, pH)</i> .....	55
6.0	DISCUSSÃO.....	58
6.1	Situação da água fornecida pelo sistema de Campina Grande.....	58

6.2	Operação e manutenção do sistema distribuidor de água de Campina Grande.....	60
7.0	CONCLUSÃO.....	63
	REFERÊNCIAS.....	65

## 1.0 INTRODUÇÃO

No Brasil, há uma crescente preocupação com a qualidade da água distribuída à população humana. A cada revisão do padrão de potabilidade, ao lado dos indicadores mais tradicionais de qualidade higiênica, novos indicadores são introduzidos com a preocupação de levar a um maior aperfeiçoamento do controle e da vigilância da qualidade da água. Desde a Portaria nº 36 de 19 de janeiro de 1990, até a Portaria nº 1469 de 29 de dezembro de 2000, atualizada pela Portaria nº 518 de 25 de março de 2004, do Ministério da Saúde, ocorreram mudanças sensíveis no padrão de potabilidade, anexo a ela, sendo notável a recomendação da monitoração dos indicadores mais específicos *Escherichia coli* e cianobactérias. Também, a monitoração de cianotoxinas e a recomendação da obtenção de valores de turbidez inferiores a 0,5 UT, na saída da unidade de tratamento, com vistas a assegurar a eficiência de remoção de enterovírus, cistos de *Giardia spp.* e oocistos de *Cryptosporidium sp.*, foram mudanças que objetivaram um controle de qualidade mais exigente por parte do operador do sistema de abastecimento. Há dois conjuntos de atividades estreitamente relacionados à oferta de água potável à população; o primeiro, exercido pelo operador do sistema de abastecimento, é o controle da qualidade, e o segundo, exercido pela autoridade de saúde pública, é a vigilância da qualidade da água para consumo humano (BRASIL, 2004).

De acordo com a “Diretriz nacional do plano de amostragem da vigilância em saúde ambiental relacionada à qualidade da água para consumo humano” (BRASIL, 2007), a monitoração da qualidade da água pode ser entendida como atividade de vigilância ou de investigação. Enquanto a monitoração de investigação consiste em buscar informações sobre a qualidade da água em casos de acidentes ou eventos de surto/epidemia, a monitoração de vigilância consiste em avaliar, continuamente, a qualidade da água consumida pela população, permitindo a identificação de fatores de riscos e a definição de estratégias de melhoria da situação existente, além do acompanhamento dos impactos resultantes das medidas implementadas. A monitoração da vigilância da qualidade da água deve conciliar os princípios de amostragem (abrangência e representatividade) com outros aspectos como infraestrutura e capacidade instaladas e a complementaridade com o controle de qualidade levado a efeito pelo serviço de abastecimento.

A monitoração da vigilância da qualidade da água deve ser baseada num plano de amostragem, implementado pelos municípios em articulação com os estados devendo ser observado que todos os municípios devem implantar os indicadores sentinelas, independentemente de seu porte, bem como realizar análise dos dados de qualidade da água para consumo humano em conexão com as informações constantes no Sistema de Monitorização das Doenças Diarréicas Agudas – MDDA.

Comumente, há uma imediata associação da vigilância da qualidade da água à determinação de indicadores microbiológicos, embora seja reconhecido que não existem organismos que indiquem a presença ou ausência da ampla variedade de patógenos possíveis de serem inativados ou resistirem aos diversos processos de tratamento de água (BASTOS, 2005 *apud* BRASIL, 2007). Mas, variáveis físico-químicas revestem-se de grande valor em vista de serem determinadas através de métodos mais simples, rápidos e de menor custo, exigindo nível de especialização bem menor que aqueles para as determinações microbiológicas, podendo ser usadas como indicadores sentinelas. O termo sentinelas (BRASIL, 2007) é utilizado em analogia às chamadas fontes sentinelas e aos Sistemas de Vigilância Sentinela bastante utilizados na Epidemiologia. Utilizado para os indicadores sanitários, o termo pretende conferir aos mesmos 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.

No âmbito da vigilância da qualidade da água, os indicadores sentinelas referidos na “Diretriz nacional do plano de amostragem da vigilância em saúde ambiental relacionada à qualidade da água para consumo humano” (BRASIL, 2007) são a turbidez e o cloro residual livre (CRL). De fato, esses indicadores estão relacionados mais diretamente à qualidade higiênica, mas outros indicadores como o pH e o cloro residual combinado (CRC) devem fazer parte do elenco de indicadores auxiliares, em vista de sua relação com a desinfecção da água.

A turbidez que na rede de distribuição deve ser sempre inferior a 5,0 UT (BRASIL, 2004) e é causada pela presença de material em suspensão e coloidal, guarda uma relação inversa com a transparência da água, além de poder comprometer o desempenho da desinfecção.

O cloro residual livre (CRL) exprime a soma das concentrações de ácido hipocloroso ( $\text{HClO}$ ) e do íon hipoclorito ( $\text{ClO}^-$ ), sendo o primeiro o real agente desinfetante e o segundo uma espécie de desinfetante potencial que, ao reagir com íons hidrogênio ( $\text{H}^+$ ), forma ácido hipocloroso. O padrão de potabilidade brasileiro estabelece a faixa entre 0,2 e 2,0 mgCRL/L, em qualquer ponto da rede de distribuição de água, devendo a desinfecção ser realizada num pH inferior a 8,0, com um tempo de contato mínimo de 30 minutos.

O pH é uma das variáveis químicas de maior influência sobre a qualidade da água, por conferir agressividade quando inferior a 6,0 e propiciar a precipitação de carbonato de cálcio, quando superior a 9,5. O desempenho da desinfecção com cloro é altamente dependente do pH, sendo melhor em águas mais ácidas. O padrão de potabilidade (BRASIL, 2004), ora em vigor no Brasil, recomenda que o pH da água de abastecimento seja mantido na faixa entre 6,0 e 9,5.

Monocloramina ( $\text{NH}_2\text{Cl}$ ), resultante da reação de ácido hipocloroso com sais de amônio, e dicloramina ( $\text{NHCl}_2$ ) e tricloramina ( $\text{NCl}_3$ ), formadas, respectivamente, pela oxidação de mono e dicloramina pelo ácido hipocloroso, constituem o cloro residual combinado (CRC) o qual pode coexistir com o CRL em sistemas de abastecimento de água, particularmente em locais da rede de distribuição, como reservatórios e extremidades da rede, que favoreçam a acumulação de matéria orgânica nitrogenada passível de amonificação. Quantidades significativas de CRC indicariam manutenção deficiente e sua pesquisa pode contribuir para o estabelecimento de um programa mais eficiente de manutenção dos sistemas de abastecimento de água apresentando certa complementaridade com a contagem de bactérias facultativas heterótrofas (BFH). CRC, como mono e dicloramina têm poder desinfetante reduzido em comparação com o CRL, além de ser responsável pela ocorrência de algum odor e por uma significativa demanda de cloro livre.

Esta monografia é um estudo preliminar sobre o comportamento de indicadores sentinelas no sistema de distribuição de água de Campina Grande, estado da Paraíba, Região Nordeste do Brasil.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo geral**

O objetivo geral desta monografia é o levantamento de indicadores sentinelas e indicadores auxiliares no sistema de distribuição de água de Campina Grande (PB), como contribuição para a formulação do plano municipal de amostragem da vigilância da qualidade da água que vise contribuir para o estabelecimento de um esquema de manutenção do sistema e operação, particularmente dos reservatórios e outros pontos estratégicos.

### **1.1.2 Objetivos específicos**

Os objetivos específicos são os seguintes:

- Descrever o comportamento dos indicadores sentinelas (CRL e Turbidez) e auxiliares (pH e CRC) em pontos estratégicos do sistema de distribuição de água de Campina Grande;
- Estudar a associação entre os indicadores sentinelas e as características das zonas de pressão investigadas;
- Estudar a associação entre os indicadores sentinelas e as características dos pontos críticos identificados no sistema de distribuição de água;
- Verificar conformidades e não conformidades dos valores levantados com o padrão de potabilidade.

## 2.0 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 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 socioeconômicas 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:

- 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.

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: traduzem-se pela minimização de custos associados aos componentes dos sistemas e aos custos operacionais.

Antes da implantação de qualquer sistema de abastecimento de água, é necessário considerar os elementos condicionantes que irão auxiliar na escolha do tipo de sistema a ser instalado e a tecnologia de tratamento a ser utilizada, tais como 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; PÁDUA, 2006). Segundo os mesmos autores, pode-se destacar, 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 12.211 (ABNT, 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, uma vez que, 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 (PNSB) realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2008), o enfoque regional mostra que, em 2008, dos 33 municípios sem rede geral de abastecimento de água em pelo menos um distrito, 21 (63,3%) localizavam-se na Região Nordeste, com destaque para os Estados da Paraíba (11 municípios) e Piauí (5); e sete (21,2%) na Região Norte, com destaque para o Estado de Rondônia (4 municípios).

## **2.2 Realidade brasileira quanto à operação, manutenção e qualidade da água de abastecimento público.**

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; REIS, 2004), e manter o fornecimento de água com qualidade à crescente população.

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 frequentemente 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 pequenos e médios portes, 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 são operados de forma “intuitiva”, ou seja, com base 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% cursaram 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).

### **2.3 Plano de Segurança da Água (PSA)**

A água para ser considerada potável deve passar pelo controle de qualidade e atender aos padrões de potabilidade estabelecidos por normas de qualidade, fazendo uso de programas de monitoração através de análises e exames de forma proporcional à população atendida pelo sistema de abastecimento.

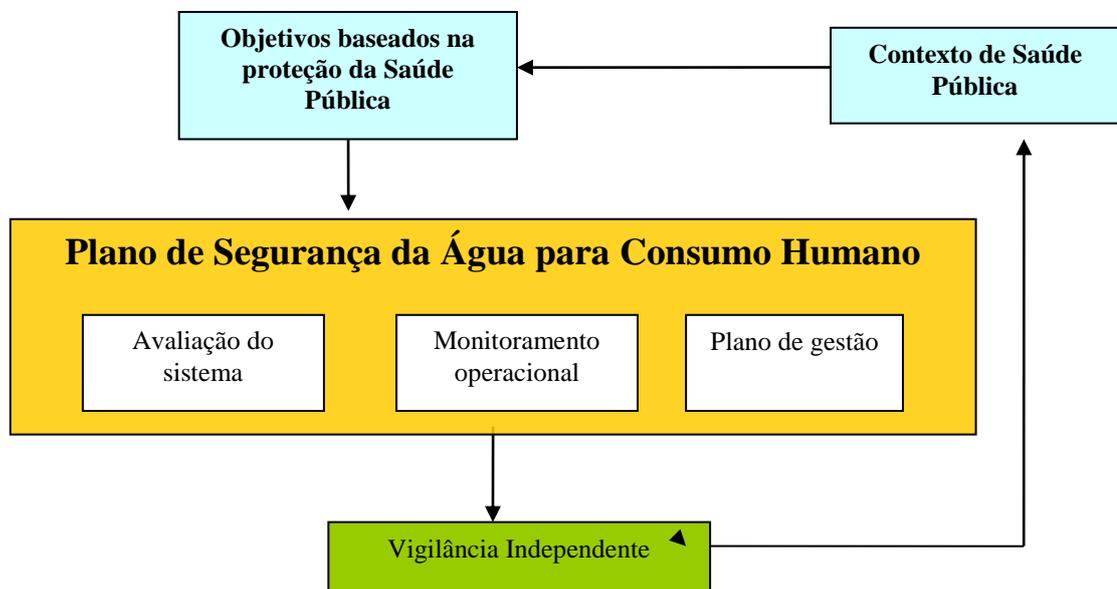
No entanto, apesar da frequente monitoração, têm-se verificado o surgimento de doenças relacionadas com o consumo de água devido a problemas que não foram sanados em tempo hábil, tornando evidente que o instrumento de controle não dá garantia de que o fornecimento de água potável seja totalmente seguro. Esta é uma das razões pela qual a Organização Mundial de Saúde recomenda a implementação do Plano de Segurança da Água (*Water Safety Plan*), com o qual se pretende pôr em prática uma mudança na abordagem dos mecanismos de controle de qualidade da água para um processo de gestão de segurança, desde o manancial até o consumidor.

De acordo com as novas Guias da Organização Mundial de Saúde (WHO, 2004), um Plano de Segurança da Água para Consumo Humano (PSA), pode ser

definido como sendo um documento que identifica e prioriza riscos potenciais que podem ser verificados em um sistema de abastecimento, incluindo todas as etapas desde o manancial até o consumo, desenvolvendo medidas de controle preventivas e corretivas e estabelecendo processos para verificação da eficiência da gestão dos sistemas de controle de qualidade da água para consumo humano. A sua implementação dá-se através da utilização de boas práticas no sistema de abastecimento de água, como a minimização da contaminação nas origens da água, a remoção da contaminação durante o processo de tratamento e a prevenção de pós-contaminação durante o armazenamento e a distribuição da água (Figura 2.1).

Um PSA deve ser elaborado e implementado por todo produtor de água para consumo humano, por intermédio de uma equipe multidisciplinar de especialistas, de acordo com critérios técnicos, legislações em saúde, meio ambiente, de recursos hídricos, além da aplicação de normas, especialmente as relativas aos sistemas de abastecimento de água.

**Figura 2.1** – Esquema de referência para o estabelecimento do plano de segurança da qualidade da água (proposta em WHO, 2004).



O plano apresenta complexidade variável dependendo do porte do sistema, do tipo e vulnerabilidade do manancial, das características da equipe de operação, entre outros aspectos. Os principais objetivos de um PSA são a proteção dos mananciais minimizando as possibilidades de contaminação, a redução ou

remoção de contaminantes no tratamento e a garantia da qualidade da água de consumo na reservação, distribuição e, até mesmo, no uso pela população abastecida.

Segundo Vieira e Morais (2005), as etapas fundamentais que constituem um Plano de Segurança da Água são:

- Estabelecimento de objetivos para a qualidade da água destinada ao consumo humano, com base em considerações de saúde.
- Avaliação do sistema de abastecimento de água “com vista a assegurar que esse sistema, como um todo (da fonte até a torneira do consumidor, passando pelo tratamento), fornece água com uma qualidade que cumpre com os objetivos estabelecidos, também incluindo a avaliação de critérios de projeto para novos sistemas”. Esta avaliação constitui uma primeira “fotografia” para determinar se o sistema demonstra capacidades para atingir os objetivos de proteção de saúde propostos.
- Identificação de medidas de controle “que garantam, de forma global, o controle dos riscos detectados e que assegurem que sejam alcançados os objetivos de qualidade da água, na perspectiva de saúde pública”. Esta componente inclui a metodologia de avaliação e gestão de riscos e assegura a percepção das capacidades e limites das barreiras múltiplas que compõem o sistema. Envolve os aspectos de monitoração operacional.
- Preparação de planos de gestão “que descrevam as ações a tomar em casos de operação de rotina ou em caso de condições excepcionais e documentem a avaliação e monitoração do sistema”. Esta componente inclui a elaboração dos planos de monitoração e comunicação, bem como os respectivos programas de suporte.
- Funcionamento de um sistema de vigilância independente.

O PSA deve conter todas as etapas relacionadas aos aspectos constituintes de um sistema de abastecimento de água, contemplando de forma detalhada a caracterização do manancial, identificando as possíveis fontes de poluição na bacia hidrográfica e definindo medidas de proteção do manancial, além da descrição do tratamento, reservação e rede de distribuição. Desta forma permite-

se, com maior acurácia, avaliar como os agentes químicos e biológicos podem penetrar no sistema e, conseqüentemente, as possibilidades de risco à saúde. Portanto, o plano deve ser encarado com a visão de saúde pública, tornando-se necessário que haja regularmente a verificação de todos os elementos que o constituem, sua eficácia e conformidade objetivando a garantia de segurança da água a ser consumida (VIEIRA *et al.*, 2005).

## **2.4 Vigilância e controle da qualidade da água**

Os termos Controle e Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano, adotados pela OMS, encontram-se definidos na legislação brasileira (BRASIL, 2004), como segue:

- Controle da qualidade da água para consumo humano – conjunto de atividades, exercidas de forma contínua pelo (s) responsável (is) pela operação do sistema 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 norma e para avaliar os riscos que os sistemas e as soluções alternativas de abastecimento de água representam para a saúde humana.

Tais definições estabelecem as diferentes responsabilidades e mecanismos, os mais claros e objetivos possíveis, para o exercício eficaz e diferenciado, do controle e da vigilância, da qualidade da água para consumo humano. O primeiro é realizado pela concessionária responsável pela operação do serviço de abastecimento de água, companhia estadual de saneamento, autarquia municipal, prefeitura ou empresa privada. A realização da vigilância cabe ao Ministério da Saúde, por intermédio das secretarias estaduais, no sentido de verificar se a água distribuída atende às premissas estabelecidas pelo padrão de potabilidade, além de avaliar os riscos à saúde da população abastecida.

O termo vigilância pode ser entendido como uma avaliação frequente e continuada de vários aspectos, com o objetivo de identificar riscos potenciais à

saúde humana, possibilitando formas de intervenção ou controle, assumindo caráter rotineiro e preventivo (CARMO *et al.*, 2008). Nesse contexto quando relacionada à qualidade da água para consumo humano, o caráter preventivo representa um grande desafio para os envolvidos na vigilância, por ser a água dinâmica no tempo e no espaço, e a monitoração deve ser realizada ao mesmo tempo em que a água é captada, distribuída e consumida.

Nesse sentido a legislação brasileira, optou pela busca de um instrumento legal com caráter efetivo e simultâneo de controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano: a Portaria nº 518/2004 que, de forma sucinta (Bastos *et al.*, 2005), apresenta as atividades inerentes ao Controle e Vigilância da Qualidade da Água, ora estabelecidas na legislação brasileira.

Em relação ao controle da qualidade da água, deve ser visto por uma perspectiva mais ampla, bem além do simples controle laboratorial e incorporando a promoção das boas práticas em todos os componentes do sistema como segue:

- Manter avaliação sistemática do sistema de abastecimento de água, com base na ocupação da bacia contribuinte ao manancial, no histórico das características de suas águas, nas características físicas do sistema, nas práticas operacionais e na qualidade da água distribuída.
- Promover, em conjunto com os órgãos ambientais e gestores de recursos hídricos, as ações cabíveis para a proteção do manancial de abastecimento e de sua bacia contribuinte, assim como efetuar controle das características das suas águas, notificando imediatamente a autoridade de saúde pública sempre que houver indícios de risco à saúde.
- Comunicar, imediatamente, à autoridade de saúde pública e informar, adequadamente, à população a detecção de qualquer anomalia operacional no sistema ou não conformidade na qualidade da água tratada, identificada como de risco à saúde.
- Encaminhar à autoridade de saúde pública relatórios mensais com informações sobre o controle da qualidade da água.
- Manter registros atualizados sobre as características da água distribuída, sistematizados de forma compreensível aos consumidores e disponibilizados para pronto acesso e consulta pública.

- Manter mecanismos para recebimento de queixas referentes às características da água e para adoção das providências pertinentes.
- Fornecer a todos os consumidores informações sobre a qualidade da água distribuída, mediante envio de relatório, dentre outros mecanismos, com periodicidade mínima anual.

No entanto em se tratando da vigilância da qualidade da água, são estabelecidas as seguintes atividades:

- Sistematizar e interpretar os dados gerados pelo responsável pela operação do sistema de abastecimento de água, assim como, pelos órgãos ambientais e gestores de recursos hídricos, em relação às características da água nos mananciais, sob a perspectiva da vulnerabilidade do abastecimento de água quanto aos riscos à saúde da população.
- Efetuar, sistemática e permanentemente, avaliação de risco à saúde humana de cada sistema de abastecimento, por meio de informações sobre, a ocupação da bacia contribuinte ao manancial e o histórico das características de suas águas, as características físicas dos sistemas, práticas operacionais e de controle da qualidade da água, o histórico da qualidade da água produzida e distribuída, a associação entre agravos à saúde e situações de vulnerabilidade do sistema.
- Auditar o controle da qualidade da água produzida e distribuída e as práticas operacionais adotadas.
- Implementar um plano próprio de amostragem para a verificação da qualidade da água.

A vigilância deve ser entendida, como cita Waldman (1983), como um pré-requisito para a elaboração de programas de saúde, devendo ser útil também para identificação dos fatores de risco e das populações vulneráveis à exposição ao risco, objetivando tornar mais efetivas as medidas de controle. Portanto, é importante verificar que as ações de vigilância e controle, apesar de serem executadas por entidades distintas, são a elas atribuídas igual destaque no sentido de gerenciamento de riscos à saúde, garantindo a potabilidade da água consumida pela população.

## 2.5 Evolução do padrão de potabilidade no Brasil

No Brasil, o padrão de potabilidade vigente, Portaria nº 518/2004, é constituída por padrão microbiológico, padrão de turbidez para a água pós-filtração ou pré-desinfecção, padrão para substâncias químicas que representam risco à saúde, padrão de radioatividade e padrão de aceitação para consumo humano.

A normatização da qualidade da água para consumo humano foi inicialmente estabelecida com o advento do Decreto nº. 79.367/1977 atribuindo competência ao Ministério da Saúde, para elaborar normas e o padrão de potabilidade de água para consumo humano a serem adotados em todo o território nacional. O exercício da fiscalização, controle do cumprimento das normas e padrão estabelecido era competência das Secretarias Estaduais de Saúde. A partir do Decreto supracitado surgiu o primeiro padrão de potabilidade brasileiro através da Portaria nº. 56 de 14 de março de 1977 do Ministério da Saúde (BRASIL, 1977), definindo os limites máximos para as diversas características químicas, físicas e biológicas referentes à qualidade da água para consumo humano.

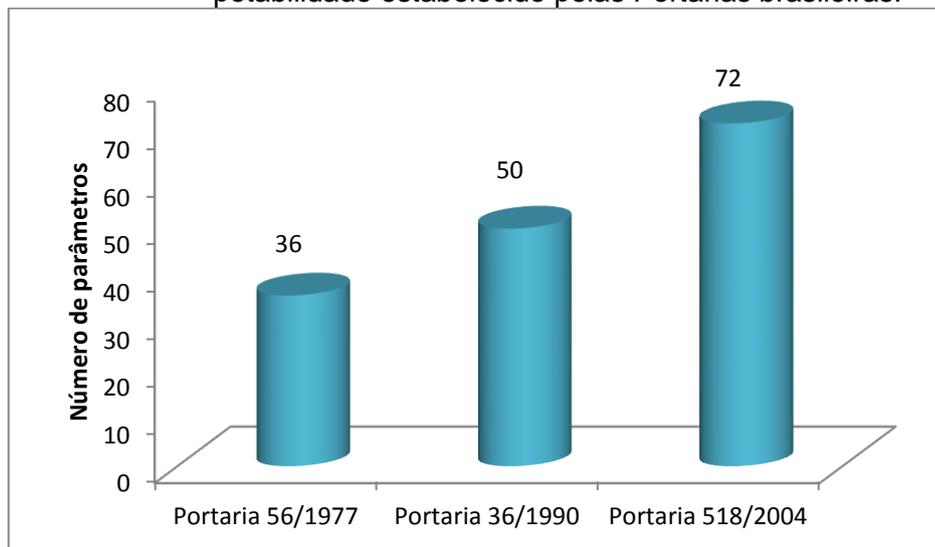
O levantamento do Ministério da Saúde em 1986, sobre as atividades exercidas pelas Secretarias Estaduais de Saúde (SES), constatou que, com exceção do Paraná, os demais estados não desenvolviam as atividades de Vigilância da Qualidade da Água ou não as exerciam de forma sistemática. O Ministério da Saúde criou, então, o Programa Nacional de Vigilância da Qualidade da Água para o Consumo Humano, com a meta de efetuar a revisão da legislação federal, capacitar tecnicamente os profissionais das SES e definir estratégias para garantir o bom desempenho laboratorial quanto ao padrão físico-químico e bacteriológico da água.

A Portaria nº. 56/1977 foi revogada pela Portaria nº. 36 de 19 de janeiro de 1990 (BRASIL, 1990) e, uma década depois, após um amplo processo de revisão da Portaria nº 36, integrando diversos segmentos relacionados ao tema, foi publicada a Portaria nº 1.469 em dezembro de 2000 (BRASIL, 2001), mas com implementação efetiva em janeiro de 2003. Em junho do mesmo ano, foi constituída a Secretaria de Vigilância em Saúde do Ministério da Saúde que assumiu as atribuições do Centro de Epidemiologia (Cenepi), até então localizado na estrutura da Fundação Nacional de Saúde (Funasa). Em virtude desse ordenamento na estrutura do Ministério da Saúde, a Portaria nº 1.469 foi revogada, passando a vigorar a Portaria nº 518 de março de 2004 (BRASIL, 2004), as alterações

processadas foram apenas, relacionadas à transferência de competência da Funasa para a SVA e à prorrogação no prazo, para que as instituições ou os órgãos aos quais a Portaria se aplica promovessem as adequações necessárias ao seu cumprimento em alguns quesitos.

A Portaria nº 518/2004, atualmente em vigor, estabelece os procedimentos e responsabilidades ao controle e vigilância da qualidade da água para o consumo humano e seu padrão de potabilidade, além de dar outras providências. A Figura 2.2, apresenta a evolução dos padrões brasileiros com relação ao número de parâmetros contemplados e a Tabela 2.1 apresenta a discriminação do tipo dos parâmetros integrantes desses padrões.

**Figura 2.2** – Número de parâmetros contemplados no padrão de potabilidade estabelecido pelas Portarias brasileiras.



Fonte: Portarias do Ministério da Saúde nº56/1977, nº36/1990 e nº 518/2004.

**Tabela 2.1** – Discriminação da natureza dos parâmetros das portarias nacionais.

Tipo de Parâmetro	Número de parâmetros		
	Portaria 56/1977	Portaria 36/1990	Portaria 518/2004
Inorgânicos	10	11	13
Orgânicos	0	7	13
Agrotóxicos	12	13	22
Subprodutos	0	2	6
Aceitação	14	17	18

Fonte: Portarias do Ministério da Saúde nº 56/1977, nº36/1990 e nº 518/2004.

## 2.6 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 nº 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 nº 357/2005 define parâmetros de qualidade da água como substâncias ou outros indicadores representativos da qualidade da água. A Tabela 2.3, lista alguns dos parâmetros ou indicadores de qualidade da água mencionados na Portaria nº 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 2.2** – Indicadores de qualidade da água apresentados na Portaria nº 518/2004.

<b>Padrões de potabilidade</b>	<b>de Parâmetros que os constituem</b>
Padrão microbiológico	Coliformes Totais, Coliformes Termotolerantes, Bactérias Heterotróficas, <i>Escherichia coli</i> .
Padrão para turbidez	Turbidez
Padrão para substâncias químicas	Inorgânicas: Antimônio, Arsênio, Bário, Cádmiio, 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	de 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.

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).

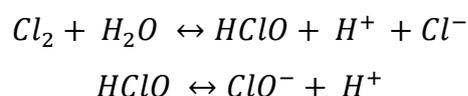
### **2.6.1 Indicadores Sentinelas**

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, 2006).

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.

#### **Cloro Residual Livre**

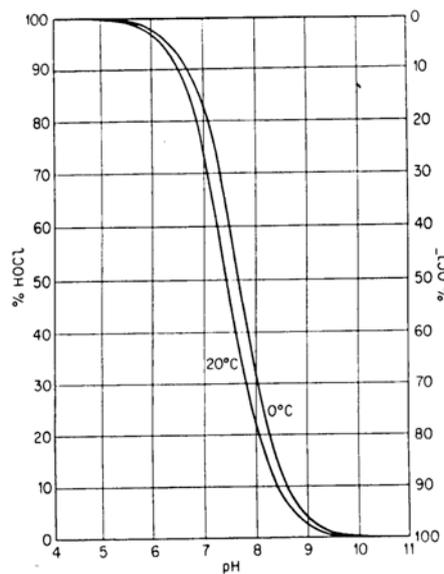
Quando o cloro é adicionado à água isenta de impurezas é hidrolisado e ocorre a formação de ácido hipocloroso e íons hidrogênio e cloreto. Dependendo do pH da água, o ácido hipocloroso se ioniza formando íons hidrogênio e o íon hipoclorito, conforme as reações abaixo:



A Figura 2.3 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 2.3** – 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 à 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 nº 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; 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, 2006)

A Portaria nº 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.

### **2.6.2 Indicadores Complementares**

#### **Potencial Hidrogeniônico – pH**

O potencial hidrogeniônico (pH) reflete a intensidade da condição ácida ( $H^+$ ) ou básica ( $OH^-$ ) de uma solução em termos de concentração de íons de hidrogênio [ $H^+$ ] (PINTO, 2007). É definido como o cologarítimo decimal da concentração efetiva ou atividade dos íons hidrogênio (SILVA; OLIVEIRA, 2001):

$$pH = -\log [H^+]$$

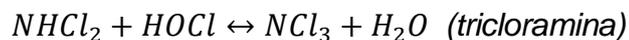
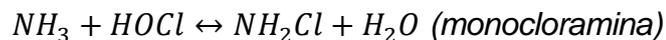
O pH varia em uma escala de 0 a 14; na faixa de 0 a 7 indica condição ácida; acima de 7 condição básica e caso esteja igual a 7 indica neutralidade do meio.

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 nº 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).

### **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 ( $\text{NH}_2\text{Cl}$ ), dicloramina ( $\text{NHCl}_2$ ) e tricloramina ( $\text{NCl}_3$ ) são as seguintes:



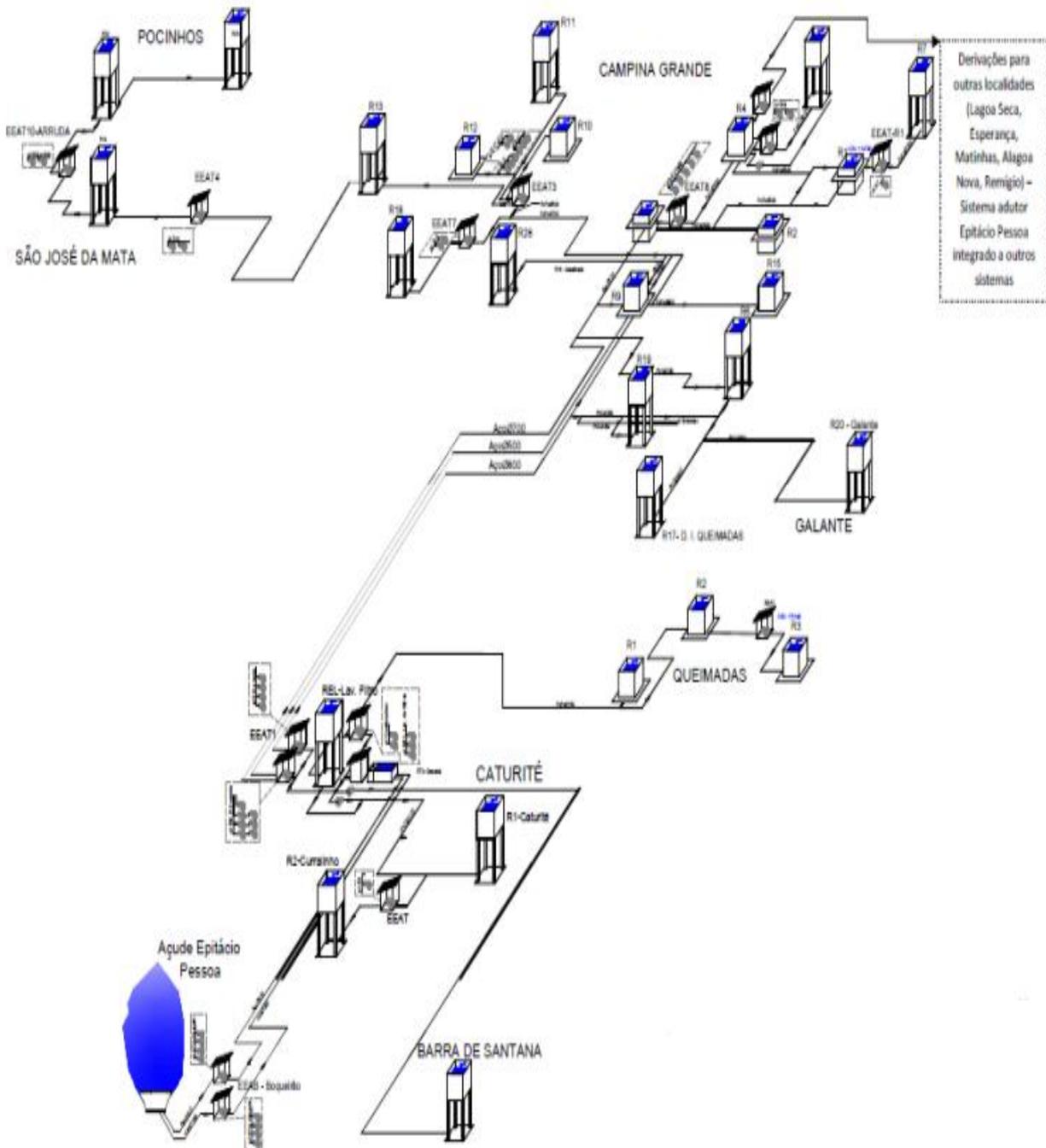
A distribuição da concentração das cloraminas depende de uma variedade de fatores, tais como, proporção cloro/amônia, ponto de adição da amônia em relação ao do cloro, a eficiência da mistura e o pH (BORGES *et al.*, 2002), sendo que a diminuição do pH e o aumento da relação cloro/nitrogênio favorece 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).

### 3.0 - SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DE CAMPINA GRANDE

A Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (CAGEPA) é a responsável pelo Serviço de Abastecimento de Água de Campina Grande. O sistema de abastecimento de água é integrado e abastece, além de Campina Grande, as sedes municipais de Barra de Santana, Queimadas, Caturité, Pocinhos e Lagoa Seca, além dos distritos de Galante e São José da Mata, com projeção de abastecimento para Matinhas e Alagoa Nova.

O município de Campina Grande, com aproximadamente 400.000 habitantes, dos quais 90% constituem a população urbana, demanda grande quantidade de água para usos diversos. O abastecimento de água é feito através de uma rede de distribuição de 1.216 km de extensão composta por 114.604 ligações domiciliares, atendendo 99,51% da população urbana. O manancial responsável pelo abastecimento é o Açude Epitácio Pessoa, localizado no município de Boqueirão, a 44 km de Campina Grande, com capacidade de armazenamento de 575.000.000 m<sup>3</sup> de água e disponibilidade de captação máxima de 1.500 L/s. Após a captação a água bruta é transportada através de duas adutoras, uma de 900 mm e outra de 800 mm de diâmetro, até a Estação de Tratamento de Água (ETA) localizada no distrito de Gravatá de Boqueirão distando um pouco mais de 20 km de Campina Grande. O sistema de abastecimento fornece aproximadamente 78.000 m<sup>3</sup>/d de água potabilizada através de tratamento convencional. Através de três linhas adutoras de, respectivamente, 500, 700 e 800 mm, a água tratada chega ao reservatório semi-enterrado R-9, localizado no Bairro de Santa Rosa, com capacidade de acumulação de 26.000 m<sup>3</sup> o que corresponde a cerca de um terço do volume de água produzido diariamente pela ETA. A partir desse reservatório saem canalizações que abastecem outros 30 reservatórios espalhados por toda a área da cidade, estando três deles (R8, R16 e o R21) desativados de acordo com informação da empresa (CAGEPA, 2009). Esses reservatórios são distribuídos entre quatro zonas de pressão: A, B, C e D, conforme ilustrado esquematicamente na Figura 3.1 e descrito em seguida, de forma que as pressões na rede atendam aos limites de valores, estático máximo de 50 m.c.a e dinâmico mínimo de 10 m.c.a., estabelecidos pela NBR 12.218 (ABNT, 1994).

**Figura 3.1 – Sistema de distribuição de água de Campina Grande.**



Fonte: CAGEPA

### Zona de Pressão “A”

A distribuição de água na Zona de Pressão A (Tabela 3.1) se faz por gravidade através do reservatório R9 para os demais reservatórios: R6, R6T, R8, R9, R15, R16, R17, R18 e R19. Os reservatórios R8 e R16 encontram desativados.

**Tabela 3.1** – Caracterização dos reservatórios de distribuição de água, Zona de Pressão A.

RESERVATÓRIO	TIPO	VOLUME (m <sup>3</sup> )	DIMENSÃO (m)
R6 - Av. Assis Chateaubriand, Distrito Industrial	Semi-enterrado	2.000	30 x 18
R6T - Av. Assis Chateaubriand, Distrito Industrial	Elevado	400	D = 10
R9 - R. Ana Almeida de Castro, Santa Rosa	Apoiado	29.000	84 x 91
R15 - Av. Severino Bezerra Cabral, Mirante	Apoiado	350	D = 10
R17 - Av. Júlia Maciel, Dist. Industrial Queimadas	Elevado	600	6,4 x 6,4
R18 - R. Maria Bandeira Silva, Mutirão do Serrotão	Elevado	200	D = 7,4
R19 - Alça Sudoeste, Ligeiro	Elevado	250	10 x 10

Fonte: CAGEPA, 2009

Nota: D = Diâmetro.

### Zona de Pressão “B”

A distribuição de água da Zona de Pressão B faz-se através dos reservatórios: R1, R2, R5 e R29. A tubulação que interliga os reservatórios R2 e R5 é de aço carbono com diâmetro DN 550 mm, numa extensão de 1.878 metros, e encontra-se desativado por não suportar mais a pressão de trabalho, motivo pelo qual as zonas de pressões B e C hoje, operam como uma só zona de pressão, pois o reservatório R4, que pertence à zona de pressão C, está abastecendo parte da zona de pressão B (ALMEIDA, 2007). A tubulação que interliga os reservatórios R5 e R2 será substituído por tubos de ferro fundido DN 600 mm, permitindo a conclusão da separação das zonas de pressões B e C e a caracterizações dos reservatórios desta zona encontra-se descrito na Tabela 3.2.

**Tabela 3.2** – Caracterização dos reservatórios de distribuição de água, Zona de Pressão B.

RESERVATÓRIO	TIPO	VOLUME (m <sup>3</sup> )	DIMENSÃO (m)
R1 - R. Dr. Vasconcelos, Centro	Semi-enterrado	3.080	55 x 21
R2 - R. Bartolomeu de Gusmão, Centro	Semi-enterrado	2.290	44 x 22
R5 - R. João da Costa e Silva, Prata	Semi-enterrado	8.000	42 x 25
R29 - R. Euclides Cunha Lima, Cuités	Elevado	300	8,5 x 8,5

Fonte: CAGEPA, 2009

### Zona de Pressão “C”

Na zona de Pressão C a distribuição de água faz-se através dos reservatórios: R4, R7, R28 e R28T. Suas caracterizações encontram-se discriminadas na Tabela 3.3, a separação das zonas de pressões “B” e “C” só

poderá ser feita após a intervenção citada no parágrafo anterior, zona de pressão “B”. Tal procedimento deveria ser realizado desde 2007, o que ainda não ocorreu.

**Tabela 3.3** – Caracterização dos reservatórios de distribuição de água, Zona de Pressão C.

RESERVATÓRIO	TIPO	VOLUME (m <sup>3</sup> )	DIMENSÃO (m)
R4 - R. Quinze de Novembro, Palmeira	Apoiado	10.000	60 x 30
R7 - R. República Francesa, Bairro das Nações	Elevado	200	7,5 x 7,5
R28 - R. Manoel da Silva, Nenzinha Cunha Lima	Apoiado	300	D = 7,4
R28T - R. Manoel da Silva, Nenzinha Cunha Lima	Elevado	200	D = 7,4

Fonte: CAGEPA, 2009

Nota: D = Diâmetro.

### Zona de Pressão “D”

A Zona de Pressão “D” atende os bairros de Bodocongó e Ramadinha, o distrito de São José da Mata e a cidade de Pocinhos. A descrição dos reservatórios desta zona é caracterizada na Tabela 3.4 Os reservatórios do sistema de distribuição desta zona são: R10, R11, R13 e R14.

**Tabela 3.4** – Caracterização dos reservatórios de distribuição de água, Zona de Pressão D.

RESERVATÓRIO	TIPO	VOLUME (m <sup>3</sup> )	DIMENSÃO (m)
R10 - R. Compositor Rosil Cavalcante, Bodocongó	Apoiado	2.000	28 x 22
R11 - R. Emiliano Rosendo, Bodocongó	Elevado	250	9 x 9
R13 - R. Nossa Senhora das Dores, Serrotão	Elevado	250	8,8 x 8,8
R14 - R. Francisco Nogueira, São José da Mata	Elevado	300	11 x 11

Fonte: CAGEPA, 2009.

#### 4.0 MATERIAL E MÉTODOS

A monografia contempla o estudo do sistema de abastecimento de água do município de Campina Grande, situado no estado da Paraíba a 552 m acima do nível do mar (7°13'50" Sul e 35°52'52" Oeste).

No sistema de distribuição de água de Campina Grande (PB), definido por quatro zonas de pressão, denominadas A, B, C e D foram amostrados 11 (onze) pontos considerados estratégicos (Tabela 4.1) em conformidade com a "Diretriz nacional do plano de amostragem da vigilância em saúde ambiental relacionada à qualidade da água para consumo humano" (BRASIL, 2006).

**Tabela 4.1** – Localização dos pontos de coletas.

PONTO DE COLETA	LOCALIZAÇÃO	ALTITUDE (m)	COORDENADAS GEOGRÁFICAS
<b>ZONA A</b>			
P8 - E.E.E.F. M Clementino Procópio	R. Felipe Camarão s/n - São José.	549	7°13'30.3" Sul e 35°53'26.2" Oeste
P9 - E.E.E.F. M Félix Araújo	R. Severino Pimentel s/n - Liberdade.	528	7°14'35.1" Sul e 35°14'35.1" Oeste
P10 - CAESE – Hospital Universitário (HUR9)	R. Dr. Chateaubriand s/n - São José.	542	7°13'37.57" Sul e 35°53'34.28" Oeste
<b>ZONA B</b>			
P5 - Vila Olímpica Plínio Lemos	R. Josino Agra s/n - José Pinheiro.	514	7°13'14.7" Sul e 35°52'14.3" Oeste
P6 - E.E.E.F.M. Sólon de Lucena	R. Hernani Laurentzi s/n - Centro.	525	7°12'55.7" Sul e 35°52'55.8" Oeste
<b>ZONA C</b>			
P4 - Escola Municipal Ana Azevedo	Av. Das Nações s/n - Bairro Das Nações.	565	7°11'45.2" Sul e 35°52'47.1"Oeste
P7 - E.E.E.F. M Monte Carmelo	Av. Prof. Carlos Francisco de Almeida s/n - Bela Vista	584	7°13'18.4" Sul e 35°54'12.5" Oeste
P11 - Hospital Universitário – Entrada Principal (HUR5)	R. Carlos Chagas s/n Bairro São José.	528	7°13'39.25" Sul e 35°53'29.76" Oeste
<b>ZONA D</b>			
P1 - Departamento de Educação Física - UEPB	Av. Das Barahunas s/n – Bodocongó	535	7°12'43.24" Sul e 35°54'50.13"Oeste
P2 – E.E.E.F.M. José Miguel Leão	Rua José Miguel, s/n , Distrito de São José da Mata	537	7°11'4.57" Sul e 35°59'9.85"Oeste
P3 - E.E.E.F.M.Severino Cabral	Rua Joaquim Amorim Junior, Bairro Bodocongó	520	7°13'36.31" Sul e 35°55'7.81"Oeste

## 4.1 Coleta de dados

Em cada ponto, amostras foram coletadas uma vez a cada duas semanas, em dias variados, garantindo com isso a uniformidade das coletas no período de amostragem. A monitoração das variáveis de qualidade da água foi baseada na análise de três amostras coletadas ao longo do dia, nos seguintes horários:

- 06h– amostras representativas das condições preponderantes no período noturno e início do abastecimento;
- Entre 11 e 13h – amostras representativas do período de maior consumo de água no sistema de distribuição;
- 17h– amostras representativas do final do ciclo diurno e início do ciclo noturno de abastecimento.

As coletas foram realizadas manualmente de uma torneira diretamente ligada ao sistema público de distribuição de água, após uma descarga de dois minutos, e as amostras mantidas em um frasco PET recoberto por uma capa escura e com capacidade de 1 litro de acordo com as recomendações de APHA, AWWA, WPCF (1999). As amostras foram coletadas em triplicata e as variáveis cloro residual (livre e combinado), pH e temperatura foram analisadas *in loco* – Laboratório Itinerante – devido à instabilidade do cloro e da inadequação de qualquer procedimento de preservação das amostras coletadas. Os métodos analíticos utilizados na pesquisa seguiram os procedimentos padrões descritos no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, AWWA, WPCF, 1999), os quais são também descritos por Silva e Oliveira (2001).

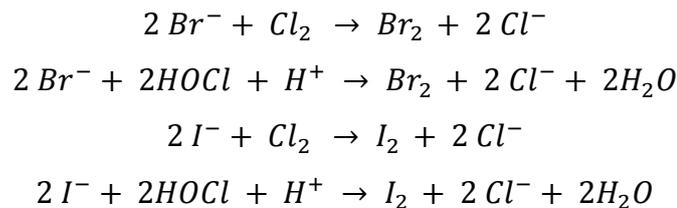
### 4.1.1 Turbidez

A turbidez foi determinada pelo método nefelométrico com a utilização de um turbidímetro portátil provido de fonte de luz de tungstênio. Este método é baseado na comparação da intensidade de luz desviada pela amostra, com a intensidade da luz desviada por uma suspensão padrão de referência (comumente formazina). A quantificação da turbidez é diretamente relacionada à intensidade da luz desviada.

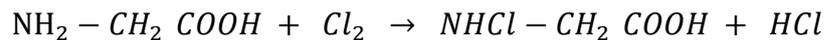
#### 4.1.2 Cloro residual livre (CRL)

Para a determinação do cloro residual foi utilizado o método titulométrico DPD - SFA. Neste método o DPD é oxidado pelo cloro ou, no caso das cloraminas, pelo iodo. É titulado com um agente redutor ferroso ( $\text{Fe}^{2+}$ ) para o ponto final incolor. Os íons de brometo ( $\text{Br}^-$ ) e iodeto ( $\text{I}^-$ ) na amostra convertem-se, através da cloração, em bromo ( $\text{Br}_2$ ) e iodo ( $\text{I}_2$ ) elementar, os quais também formam com o DPD a “cor Würster”, eliminando o cloro livre pela adição de glicina, titulando somente  $\text{Br}_2$  e  $\text{I}_2$ . A subtração desse valor obtido, do valor sem adição de glicina para a amostra permite diferenciar bromo iodo e cloro livre.

Durante a cloração são liberados bromo e iodo elementar de acordo com as reações químicas:

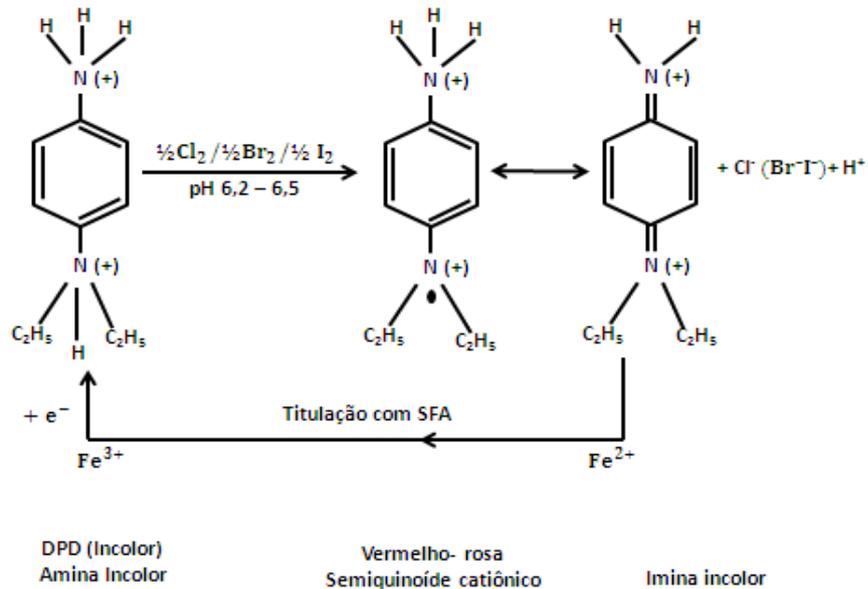


O cloro livre é eliminado pela adição de glicina, segundo a equação:



A etapa estrutural completa da formação da “cor Würster” com cloro, bromo, iodo, e a titulação com sulfato ferroso amoniacal (SFA), são ilustrados na Figura 4.1.

**Figura 4.1-** Etapa estrutural completa do Método DPD - SFA



Como indicador de oxidação-redução (redox), o DPD reage com cloro, iodo, bromo livre e outros oxidantes. Através da perda de um elétron que o oxidante recebe, o DPD transforma-se em cátion “semiquinóide” de carga positiva, responsável pela cor vermelho-rosa. Pela titulação com o SFA, a oxidação de  $Fe^{2+}$  para  $Fe^{3+}$  libera o elétron, que é recebido pelo cátion, retornando o semiquinóide para amina DPD incolor. As Equações das etapas na forma de redução-oxidação são:

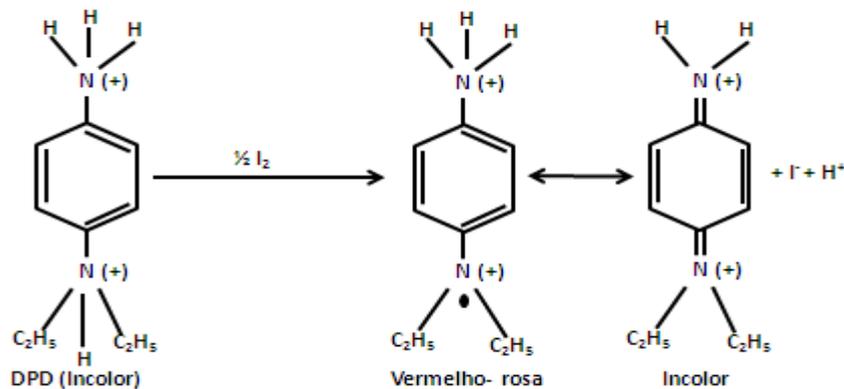
- 1)  $DPD \rightarrow DPD(oxid.) + e^{-}$
- 2)  $\frac{1}{2} Cl_2 / \frac{1}{2} I_2 / \frac{1}{2} Br_2 + e^{-} \rightarrow Cl^{-} / I^{-} / Br^{-}$
- 3)  $Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+} + e^{-}$  (Titulação)
- 4)  $DPD(oxid.) + e^{-}$  (vermelho)  $\rightarrow$   $DPD(amina, incolor)$

#### 4.1.3 Cloro residual combinado (CRC)

À mistura remanescente do teste de CRL é adicionada, primeiramente, uma pequena porção de cristais de iodeto de potássio (KI), seguida de titulação com solução padrão de sulfato ferroso amoniacal, para a determinação de monocloramina. Em seguida, é adicionada uma porção maior de cristais de KI e procedida à titulação com solução padrão de sulfato ferroso amoniacal para a

determinação de dicloramina. Tricloramina é determinada por titulação com solução padrão de SFA na presença de DPD e KI, numa alíquota de amostra tomada à parte. Com a adição de iodeto, será produzido iodo livre. O iodo reage com o DPD da mesma maneira, como cloro livre, e desenvolve a mesma cor vermelho rosa. A reação do iodo liberado pela reação entre o cloro combinado (monocloramina, dicloramina, tricloramina) e iodeto é ilustrada na Figura 4.2.

**Figura 4.2** - Reação do iodo liberado pela reação entre o cloro combinado e iodeto



#### 4.1.4 Potencial Hidrogeniônico (pH)

O pH foi determinado pelo método potenciométrico, com o auxílio do pH - metro portátil TECNOPON modelo PA210 P, calibrado com soluções tampões de pH 4 e 7. As leituras de pH foram feitas de forma direta em alíquotas das réplicas (três) de amostras coletadas.

#### 4.2 Procedimentos estatísticos

Todas as leituras referentes aos indicadores determinados foram primeiramente tabuladas e depois de determinadas às concentrações e estimados os parâmetros estatísticos descritivos de cada conjunto amostral. As replicatas foram utilizadas para estimar um valor médio do indicador referente a cada horário, em uma determinada data, em um ponto de amostragem determinado. O programa Microsoft Office Excel 2011 for Windows foi à ferramenta computacional utilizada para o procedimento estatístico.

## 5. RESULTADOS OBTIDOS

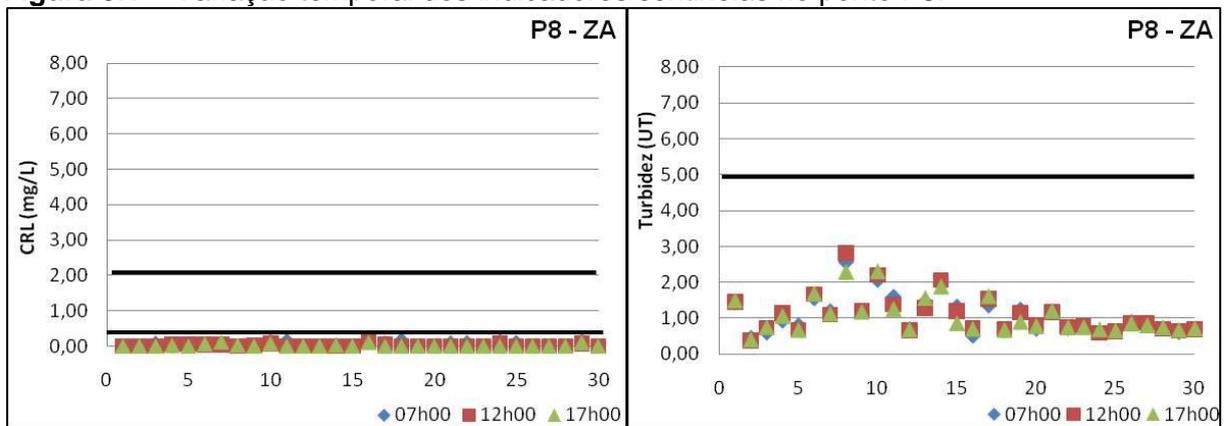
Neste capítulo são apresentados os resultados da monitoração dos indicadores de qualidade da água (CRL, Turbidez, CRC, pH) do Sistema de Distribuição de Campina Grande (PB), no período estudado, onde foram amostrados 11 (onze) pontos considerados estratégicos.

### 5.1 Pontos referentes à zona de pressão A (P8, P9, P10)

#### 5.1.1 Indicadores sentinelas (CRL, Turbidez)

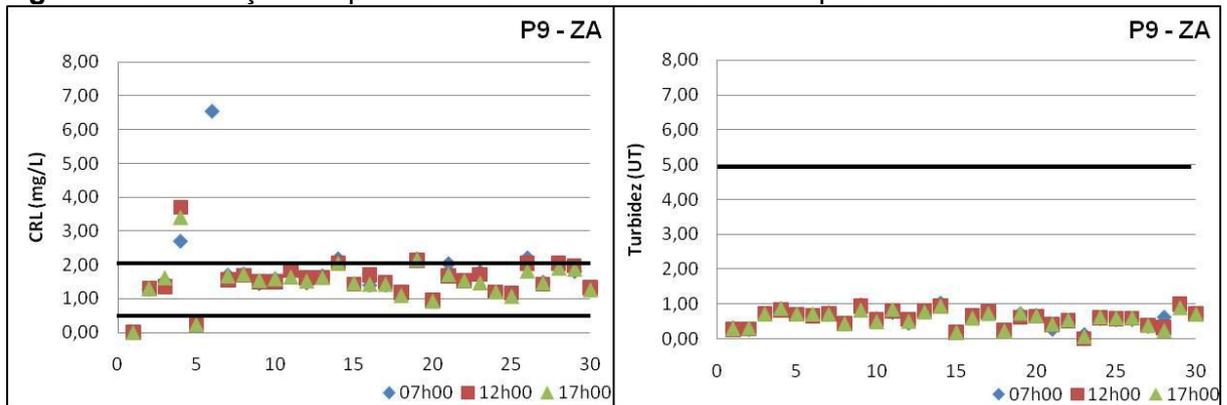
As espécies de cloro residual livre e turbidez monitoradas nos pontos P8, P9, P10 da zona de pressão A do Sistema de Distribuição de Água de Campina Grande, são apresentados nas Figuras 5.1, 5.2 e 5.3.

**Figura 5.1** – Variação temporal dos indicadores sentinelas no ponto P8.



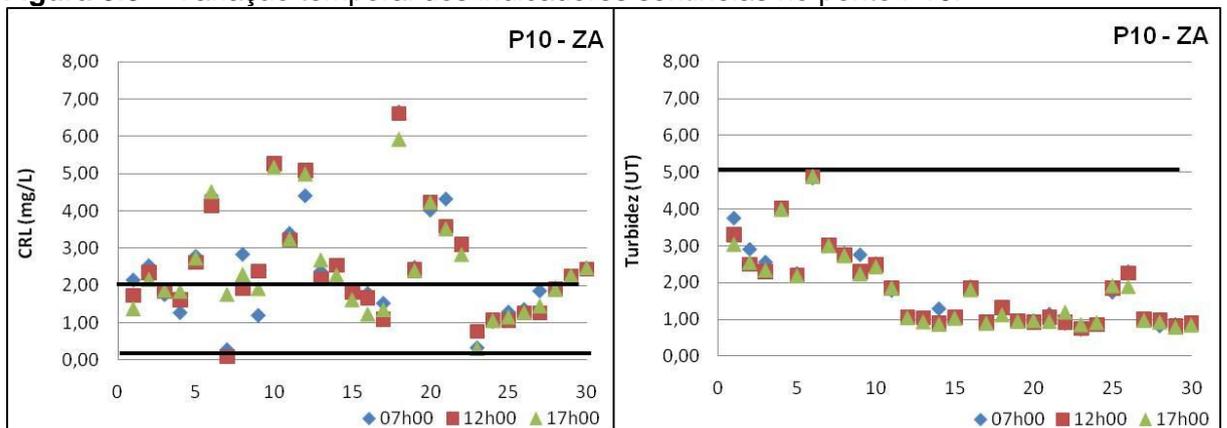
De acordo com a Figura 5.1, no ponto P8 da zona de pressão A, foi observado violações dos padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria 518/2004 – MS, correspondendo a cerca de 100% de não conformidades, com predominância de valores abaixo do mínimo, de um quantitativo amostral de 81 análises, para o indicador sentinela cloro residual livre. Com relação à turbidez não houve descumprimento da Portaria do MS nas 81 análises efetuadas no período.

**Figura 5.2** – Variação temporal dos indicadores sentinelas no ponto P9.



Para o ponto P9, representado na Figura 5.2, as violações do padrão de potabilidade foram representadas para valores predominantemente acima do máximo permitido, com cerca de 17% das 91 análises efetuadas, caracterizando um ponto de supercloração, para valores abaixo do mínimo esse percentual cai para 3%. O indicador turbidez não apresentou violação em 59 análises efetuadas.

**Figura 5.3** – Variação temporal dos indicadores sentinelas no ponto P10.

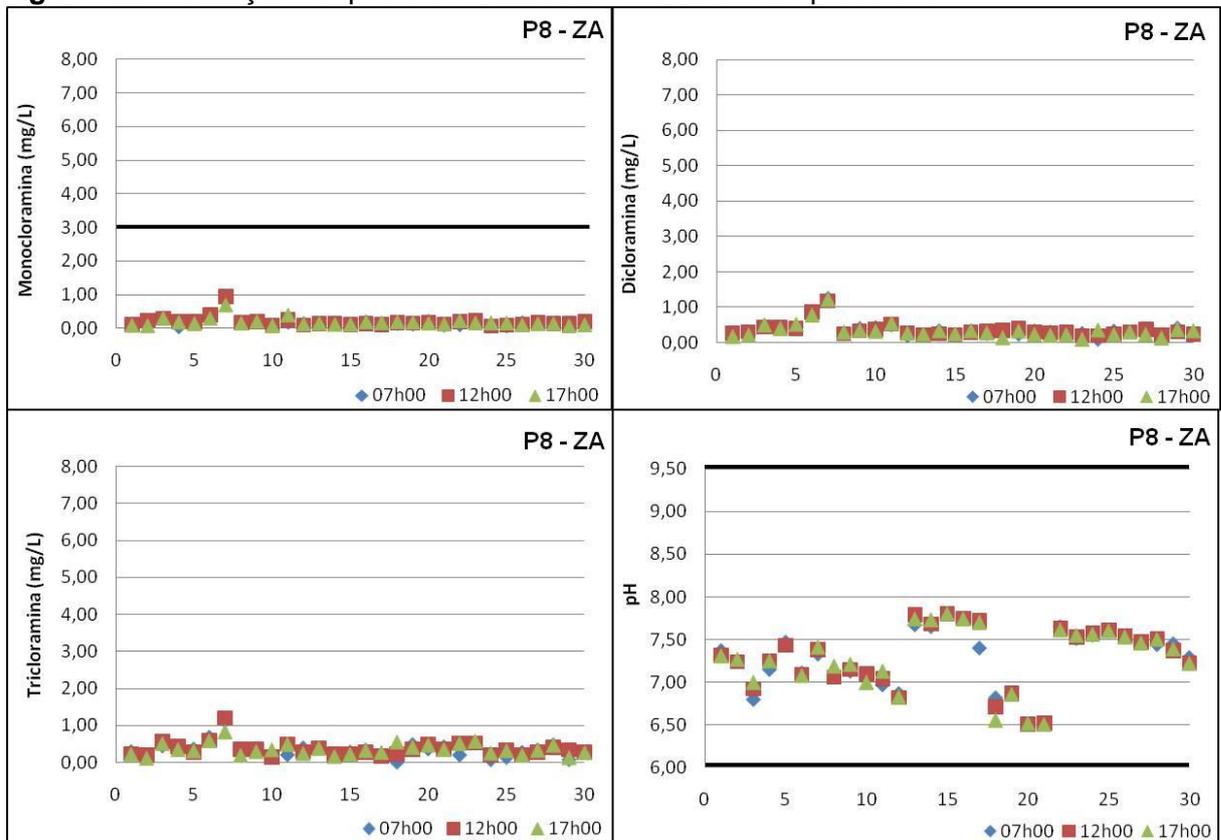


Com relação ao ponto P10, representado na Figura 5.3, o comportamento do indicador cloro residual livre se apresentou predominantemente com valores acima do máximo permitido, correspondendo a cerca de 55% de violações das 90 análises efetuadas, enquanto o indicador turbidez com o mesmo quantitativo de amostras não apresentou violação.

### 5.1.2 Indicadores auxiliares (CRC, pH)

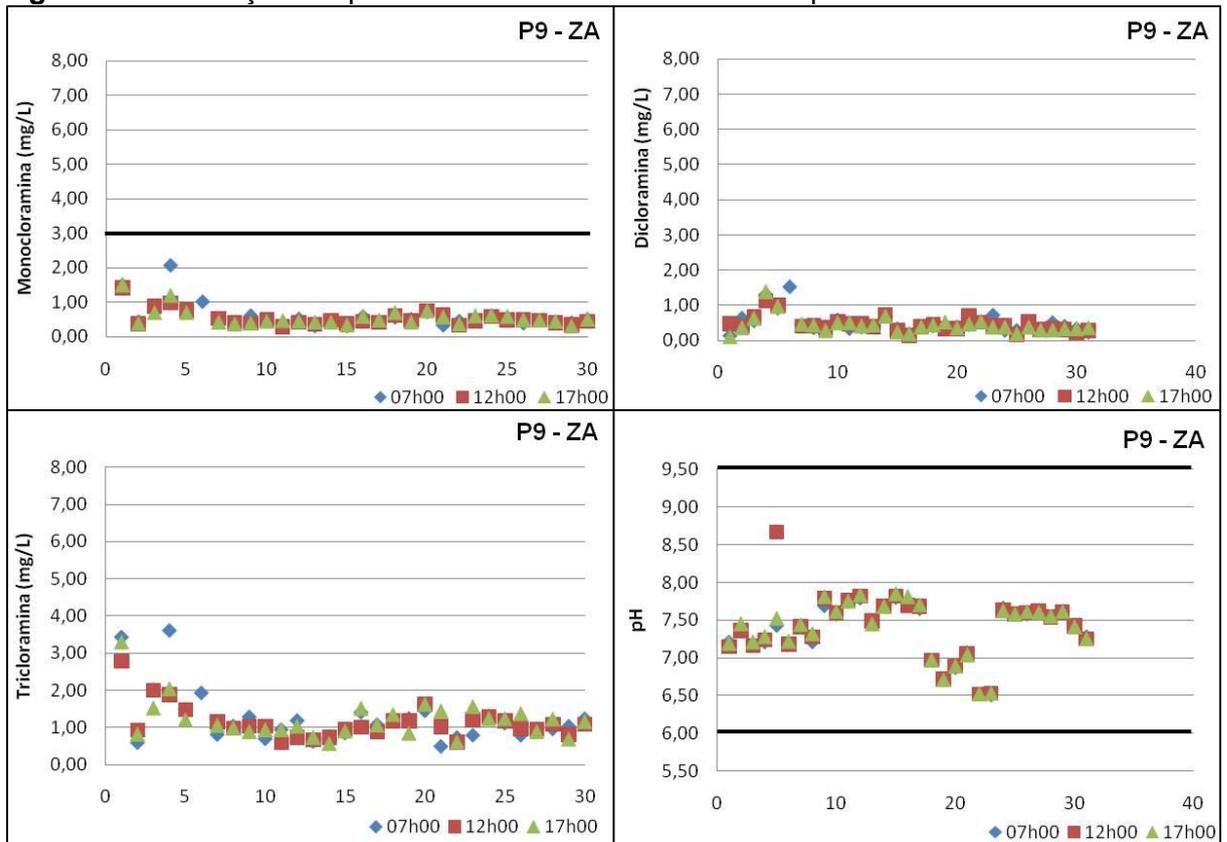
As concentrações de cloro residual combinado representado pelas frações de monocloramina, dicloramina e tricloramina são apresentadas na Figura 5.4, juntamente com o potencial hidrogeniônico, formando o grupo de indicadores auxiliares para o ponto P8.

**Figura 5.4** – Variação temporal dos indicadores auxiliares no ponto P8.



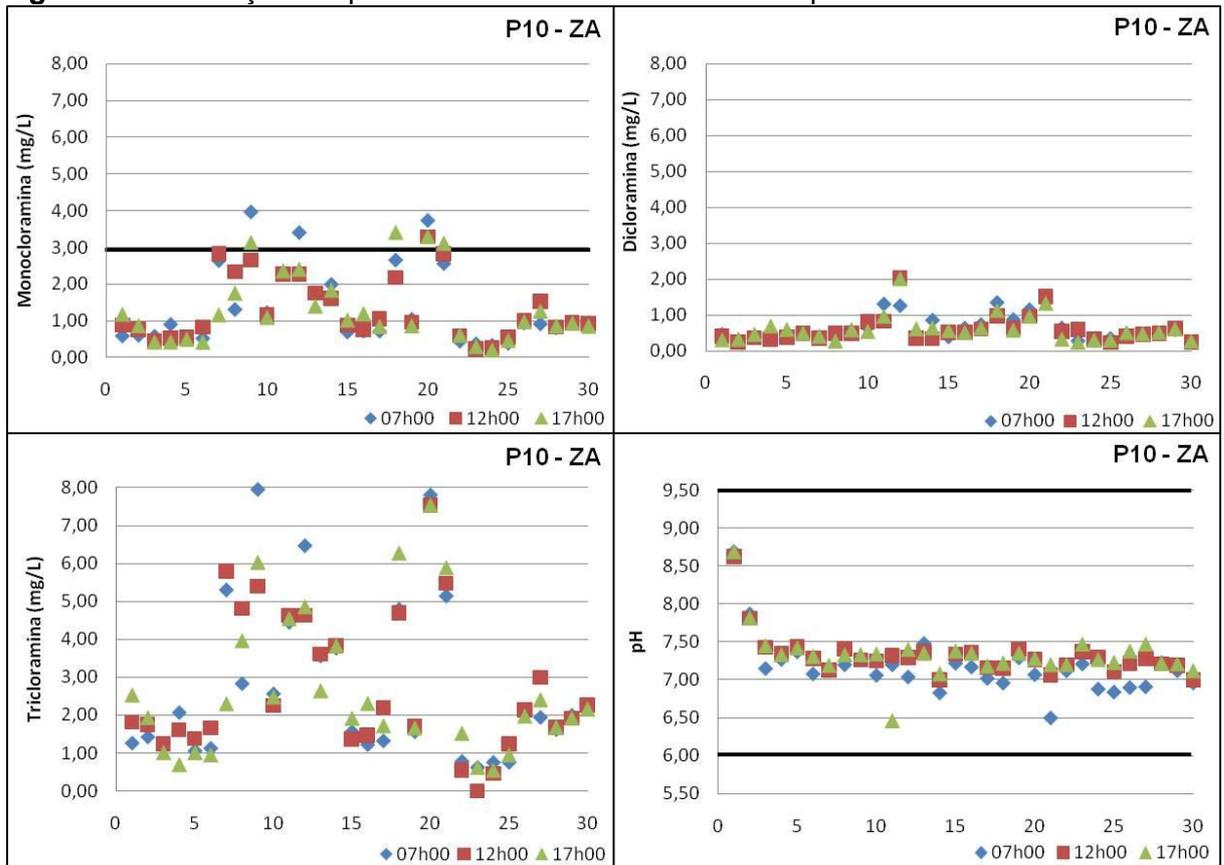
Como pode ser observado na figura referida, não houve violações do indicador monocloramina e pH, já que, dos indicadores auxiliares, são os que possuem normatização estabelecida pela Portaria nº 518/2004. A tricloramina apresentou o maior nível de concentração em relação às outras frações de cloro residual combinado, sendo destacada por não ter poder de desinfecção, em comparação às outras formas de cloro residual combinado. As concentrações de CRC e pH determinadas no ponto P9 são ilustradas na Figura 5.5.

**Figura 5.5 –** Variação temporal dos indicadores auxiliares no ponto P9.



De acordo com a figura mencionada, não houve violação do indicador monocloramina, sendo sua maior concentração de 2,08 mgCl<sub>2</sub>/L, ocorrida, às 07h00min e a menor concentração foi de 0,29 mgCl<sub>2</sub>/L, ocorrida às 12h00min. Para dicloramina sua maior concentração foi de 1,52 mgCl<sub>2</sub>/L às 07h00min. Com relação à tricloramina, a maior concentração foi de 3,60 mgCl<sub>2</sub>/L, às 07h00min e a mínima foi de 0,48 mgCl<sub>2</sub>/L também às 07h00min. Não houve violações com relação ao potencial hidrogeniônico, sendo os seus valores máximos e mínimos variando entre 8,67 e 6,51, respectivamente. As concentrações de CRC e pH determinadas no ponto P10, são ilustradas na Figura 5.6.

**Figura 5.6 –** Variação temporal dos indicadores auxiliares no ponto P10.



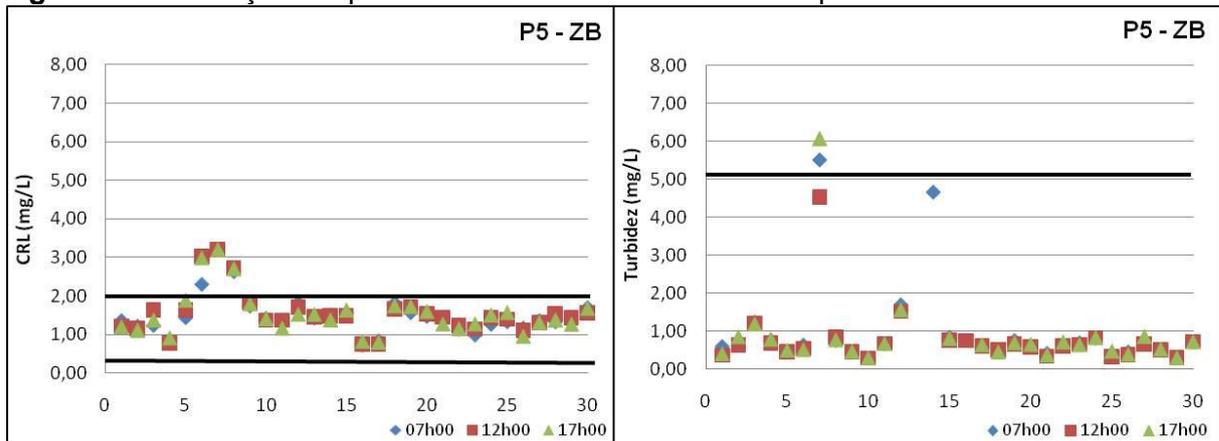
Para este ponto, ilustrado na referida figura, houve violações no indicador monocloramina em torno de 9% do quantitativo de 90 análises efetuadas, sendo apresentados valores máximos e mínimos de 3,98 e 0,22  $\text{mgCl}_2/\text{L}$ , respectivamente. Para a dicloramina o valor médio máximo foi de 2,05  $\text{mgCl}_2/\text{L}$  e o mínimo foi de 0,23  $\text{mgCl}_2/\text{L}$ . Com relação à tricloramina a maior concentração foi de 7,96  $\text{mgCl}_2/\text{L}$  e o mínimo 0,00  $\text{mgCl}_2/\text{L}$ . Para o potencial hidrogeniônico não houve violação do padrão de potabilidade, apresentando um intervalo de variação entre 6,46 e 8,69.

## 5.2 Pontos referentes à zona de pressão B (P5, P6)

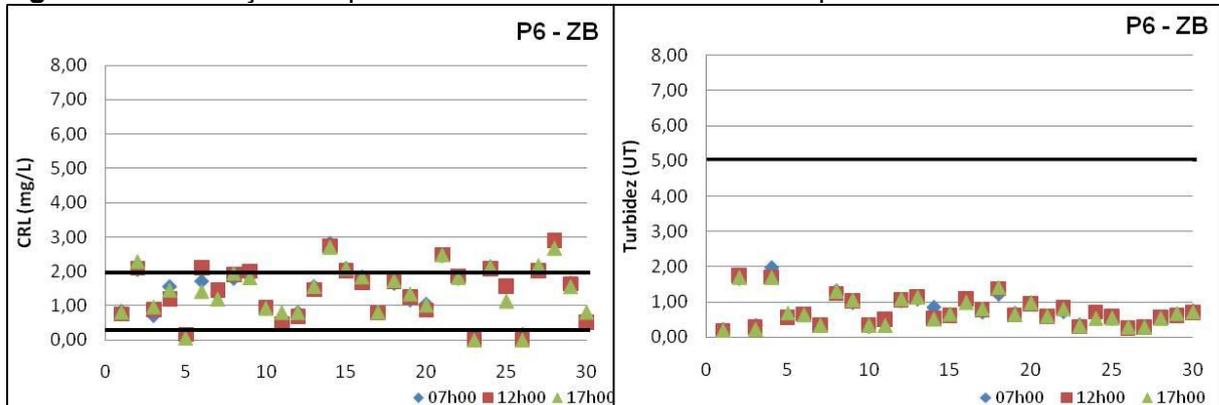
### 5.2.1 Indicadores sentinelas (CRL, Turbidez)

As espécies monitoradas de cloro residual livre e turbidez nos pontos P5 e P6, da zona de pressão B do Sistema de Distribuição de Água de Campina Grande, são apresentados nas Figuras 5.7 e 5.8.

**Figura 5.7 –** Variação temporal dos indicadores sentinelas no ponto P5.



**Figura 5.8 –** Variação temporal dos indicadores sentinelas no ponto P6.



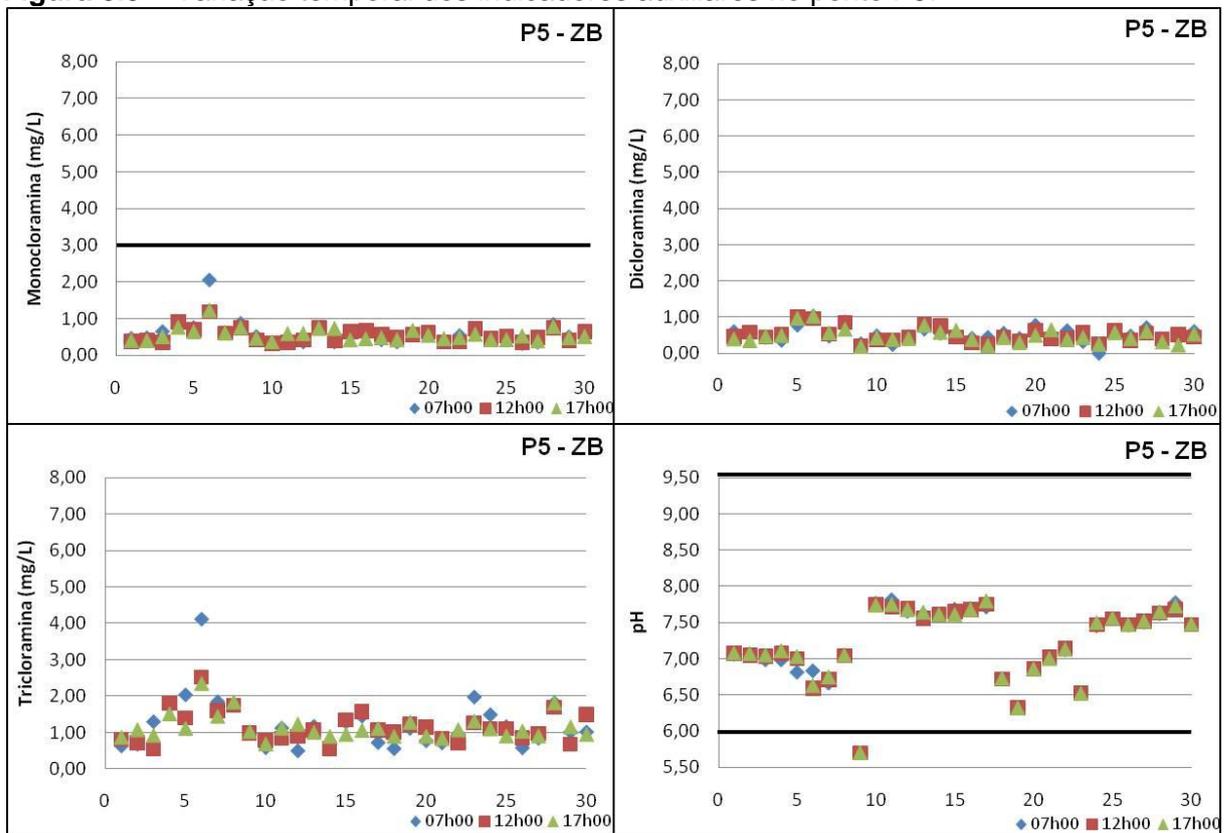
De acordo com o que é ilustrado na Figura 5.7, o ponto P5 da zona de pressão B, foram observadas violações dos padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria nº 518/2004, correspondendo a cerca de 10% de não conformidades, com predominância acima do máximo, de um quantitativo amostral de 90 análises, para o indicador sentinela cloro residual livre. Com relação à turbidez houve não conformidades de aproximadamente 7,9% das 89 análises efetuadas no período.

Com relação ao ponto P6, representado na Figura 5.8, as violações do padrão de potabilidade foram representadas para valores predominantemente acima do máximo permitido, com um percentual total de violações de cerca de 25% das 90 análises efetuadas, em relação ao mínimo esse valor caiu para 10%. O indicador turbidez não apresentou violações do padrão de potabilidade.

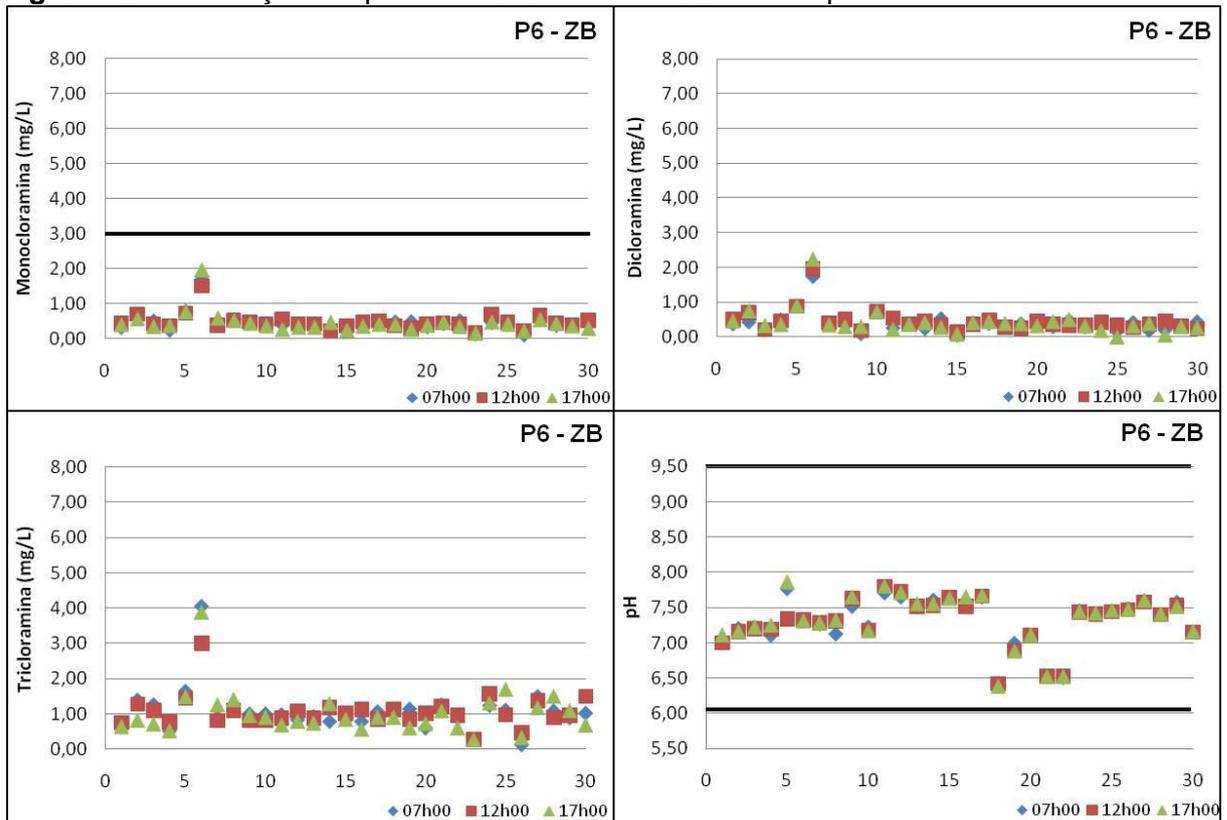
### 5.2.2 Indicadores auxiliares (CRC, pH)

As concentrações de cloro residual combinado representado nas frações de monocloramina, dicloramina e tricloramina são apresentadas nas Figuras 5.9 e 5.10 juntamente com o potencial hidrogeniônico, formando o grupo de indicadores auxiliares para os pontos P5 e P6, respectivamente, do Sistema de Distribuição de Água de Campina Grande, situados na zona de pressão B.

**Figura 5.9** – Variação temporal dos indicadores auxiliares no ponto P5.



**Figura 5.10** – Variação temporal dos indicadores auxiliares no ponto P6.



Para o ponto P5, ilustrado na Figura 5.9, a maior concentração de monoclорamina monitorada foi de 2,06 mgCl<sub>2</sub>/L, não havendo violação do padrão de potabilidade, e o mínimo foi de 0,32 mgCl<sub>2</sub>/L às 07h00min. Em relação à dicloramina o maior valor ocorreu no período da manhã com o valor de 1,04 mgCl<sub>2</sub>/L e o mínimo de 0,00 mgCl<sub>2</sub>/L também no período da manhã. Para tricloramina o maior valor foi de 4,12 mgCl<sub>2</sub>/L no período da manhã e o mínimo foi de 0,35 mgCl<sub>2</sub>/L no mesmo horário. O potencial hidrogeniônico apresentou violações de 3,3% do padrão de potabilidade para o respectivo indicador, com intervalo apresentando variação entre 5,70 e 7,81.

Com relação à variável monoclорamina no ponto P6, representada na Figura 5.10, não houve violação do padrão de potabilidade, sendo a maior monitorada de 1,98 mgCl<sub>2</sub>/L às 17h00min e a menor 0,10 mgCl<sub>2</sub>/L às 07h00min. O indicador dicloramina apresentou a maior concentração monitorada de 2,24 mgCl<sub>2</sub>/L e a mínima de 0,00 mgCl<sub>2</sub>/L ambos às 17h00min. A tricloramina apresentou a maior concentração de 4,04 mgCl<sub>2</sub>/L às 07h00min e a mínima de 0,13 mgCl<sub>2</sub>/L também às 07h00min. O potencial hidrogeniônico não apresentou violações dos padrões de potabilidade para este ponto, variando entre 6,38 e 7,86.