



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA**  
**CAMPUS I**  
**PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA**  
**AMBIENTAL**  
**MESTRADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL**

**MARCELO FÉLIX DE SOUZA JÚNIOR**

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DE ABASTECIMENTO HUMANO DO**  
**SISTEMA INTEGRADO DE ARAÇAGI/TAUÁ.**

**CAMPINA GRANDE - PB**  
**2021**

**MARCELO FÉLIX DE SOUZA JÚNIOR**

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DE ABASTECIMENTO HUMANO DO  
SISTEMA INTEGRADO DE ARAÇAGI/TAUÁ.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental (PPGCTA), da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia Ambiental.

**Área de concentração:** Qualidade de Sistemas Ambientais.

**Orientador:** Prof. Dr. Rui de Oliveira

**CAMPINA GRANDE – PB  
2021**

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

S729a Souza Júnior, Marcelo Félix de.

Avaliação da qualidade da água de abastecimento humano do Sistema Integrado de Araçagi/Tauá [manuscrito] / Marcelo Félix de Souza Júnior. - 2021.

90 p. : il. colorido.

Digitado.

Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2021.

"Orientação : Prof. Dr. Rui de Oliveira, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - CCT."

1. Abastecimento de água. 2. Tratamento de água. 3. Indicadores de qualidade. I. Título

21. ed. CDD 363.61

**MARCELO FÉLIX DE SOUZA JÚNIOR**

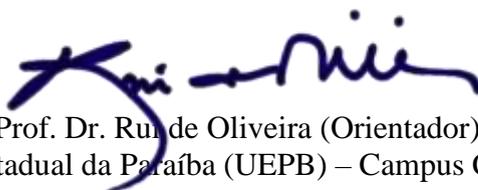
**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DE ABASTECIMENTO HUMANO DO  
SISTEMA INTEGRADO DE ARAÇAGI/TAUÁ.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental (PPGCTA), da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia Ambiental.

**Área de concentração:** Qualidade de Sistemas Ambientais.

Aprovada em: 26/08/2021.

**BANCA EXAMINADORA**



Prof. Dr. Rui de Oliveira (Orientador)  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB) – Campus Campina Grande



Profa. Dra. Ruth Silveira do Nascimento  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB) – Campus Campina Grande

Juscelino Alves  
Henriques:06751456433

Assinado de forma digital por Juscelino Alves  
Henriques:06751456433  
Dados: 2021.09.20 14:31:20 -03'00'

Prof. Dr. Juscelino Alves Henriques  
Instituto Federal do Sertão Pernambucano – Campus Ouricuri (IFSertãoPE)

Primeiramente dedico à senhora Célia (*In memoriam*), minha mãe, que infelizmente terminou sua missão neste plano terreno antes da conclusão deste trabalho.

Ao meu amigo “Beto” (*In memoriam*) que, apoiando-me como um pai, acompanhou meus passos desde o início da graduação, porém, partiu para a eternidade antes do término desse trabalho.

Ao meu amigo de infância “David” (*In memoriam*), que partiu para o plano espiritual alguns meses antes da conclusão deste trabalho. DEDICO.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao criador, pela sua grandíssima misericórdia e bençãos concedidas.

Ao meu pai, irmãos, companheira e filhos por terem sido minha fonte de inspiração.

Ao meu orientador o professor Rui de Oliveira, pelo exemplo de professor, pelos ensinamentos, dedicação, paciência e confiança.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental (PPGCTA) da UEPB, com os quais tive a oportunidade e o prazer de adquirir novos conhecimentos.

À professora Ruth Silveira do Nascimento, que me acompanhou desde o início do mestrado, auxiliando sempre que necessário.

Ao professor Juscelino Alves Henriques, que me orientou ajudando a lapidar o conhecimento necessário para a conclusão deste trabalho.

À equipe da Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (CAGEPA) – Gerência Regional do Brejo, Eng. Edson Araújo Barbosa de Almeida (Gerente regional do Brejo), Quim. Marcio de Moraes Cordeiro (Sub. de Tratamento e Cont. de Qualidade), Ana Carolina Meneses (Gerente do controle de qualidade da CAGEPA) pela atenção, ajuda e disponibilização dos dados para o estudo.

À minha antiga chefe, Maria do Socorro Silva, a qual me apoiou desde meu ingresso no mestrado.

Ao meu amigo Severo, o qual sempre estava de pronto a me auxiliar em algumas dúvidas que surgiam durante meus estudos.

***“Não sou aquele que sabe, mas aquele que busca.”***

**Hermann Hesse – Demian.**

## RESUMO

Com a finalidade de avaliar a degradação da qualidade da água para consumo humano no Sistema Integrado Araçagi/Tauá, Brejo Paraibano, no período de janeiro a novembro de 2020, o trabalho analisou os dados dos indicadores de qualidade (cloro residual livre, pH, cor e turbidez) em amostras coletadas em pontos dos sistemas de distribuição das cidades de Araçagi, Cuitegi e Guarabira. A análise dos dados foi baseada em análise exploratória e análise estatística descritiva, sendo utilizadas medidas de tendência central e de dispersão. Foi utilizada Análise de Componentes Principais para explicar a variância dos diferentes conjuntos de dados de qualidade da água. Com base nos padrões da Portaria de Consolidação nº 5/2017/MS (vigente no período das análises), foi verificado que o Sistema Integrado Araçagi/Tauá encontrava-se operando de forma adequada, produzindo água segura para consumo humano.

**Palavras-Chave:** Sistemas Integrados de abastecimento de água. Indicadores de qualidade da água. Análise de componentes principais.

.

## ABSTRACT

In order to evaluate the degradation of the quality of water for human consumption in the Araçagi/Tauá Integrated System, Brejo Paraibano, in the period from January to November 2020, the work analyzed the data of quality indicators (free residual chlorine, pH, color and turbidity) in samples collected at points of the distribution systems of the cities of Araçagi, Cuitegi and Guarabira. Data analysis was based on exploratory analysis and descriptive statistical analysis, using measures of central tendency and dispersion. Principal Component Analysis was used to explain the variance of the different sets of water quality data. Based on the standards of the Consolidation Ordinance No. 5/2017/MS (in force during the period of analysis), it was found that the Araçagi/Tauá Integrated System was operating adequately, producing water safe for human consumption.

**Keywords:** Integrated water supply systems. Water quality indicators. Principal component analysis.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Percentagem relativa de HOCl e OCl <sup>-</sup> em relação ao pH do meio.....	25
Figura 2 - Relação bactericida entre o cloro residual livre e o ácido hipocloroso.....	26
Figura 3 - Tratamento de ciclo completo da água para consumo humano .....	31
Figura 4 - Esquema de rede ramificada tipo espinha de peixe e ramificada .....	34
Figura 5 - Sistemas de adutoras no estado da Paraíba .....	35
Figura 6 - Mapa dos municípios que fazem parte do sistema integrado Araçagi/Tauá.....	44
Figura 7 - Localização das barragens de Araçagi e Tauá. ....	44
Figura 8 - Barragem Tauá.....	45
Figura 9 - Barragem de Araçagi .....	45
Figura 10 - ETA antiga de Cuitegi .....	46
Figura 11 - ETA nova de Cuitegi .....	46
Figura 12a - Foto externa da ETA de Araçagi.....	46
Figura 12b - Decantadores da ETA de Araçagi.....	46
Figura 13 - Diagrama do sistema integrado Araçagi/Tauá.....	47
Figura 14 - Mapa de abastecimento da barragem Tauá.....	48
Figura 15a - Comparação do CRL R0/pontos de coleta em Araçagi .....	57
Figura 15b - Comparação do pH R0/pontos de coleta em Araçagi.....	57
Figura 15c - Comparação da COR R0/pontos de coleta em Araçagi .....	58
Figura 15d - Comparação da TURB R0/pontos de coleta em Araçagi .....	58
Figura 16a - Comparação do CRL R0/pontos de coleta em Cuitegi .....	59
Figura 16b - Comparação do pH R0/pontos de coleta em Cuitegi.....	59
Figura 16c - Comparação da COR R0/pontos de coleta em Cuitegi .....	59
Figura 16d - Comparação da TURB R0/pontos de coleta em Cuitegi .....	59
Figura 17a - Comparação do CRL entre Araçagi, Cuitegi e Guarabira .....	61
Figura 17b - Comparação do pH entre Araçagi, Cuitegi e Guarabira .....	61
Figura 17c - Comparação da COR entre Araçagi, Cuitegi e Guarabira .....	61
Figura 17d - Comparação da TURB entre Araçagi, Cuitegi e Guarabira.....	61
Figura 18 - Representação gráfica da matriz de correlação entre as variáveis de Araçagi .....	65
Figura 19 - Representação gráfica da matriz de correlação entre as variáveis de Cuitegi .....	66
Figura 20 - Representação gráfica da matriz de correlação entre as variáveis de Guarabira ..	67
Figura 21 - Gráfico <i>scree-plot</i> (número de componentes principais <i>versus</i> autovalores) da cidade de Araçagi .....	68

Figura 22 - Correlação entre CP1 e os <i>loadings</i> das variáveis de Araçagi.....	69
Figura 23 - Correlação entre CP2 e os <i>loadings</i> das variáveis de Araçagi.....	70
Figura 24 - Coeficientes de correlação entre CP3 e as variáveis de Araçagi .....	70
Figura 25 - Gráfico <i>biplot</i> das duas primeiras CP's e os coeficientes de correlação da cidade de Araçagi.....	71
Figura 26 - Gráfico <i>scree-plot</i> (número de componentes principais versus valores próprios) Cuitegi.....	72
Figura 27 - Correlação entre CP1 e os <i>loadings</i> das variáveis de Cuitegi.....	73
Figura 28 - Correlação entre CP2 e os <i>loadings</i> das variáveis de Cuitegi.....	73
Figura 29 - Coeficientes de correlação entre CP3 e as variáveis de Cuitegi .....	74
Figura 30 - Representação gráfica <i>biplot</i> das duas primeiras CP e os <i>loadings</i> da cidade de Cuitegi.....	74
Figura 31 - Gráfico <i>scree-plot</i> (número de componentes principais versus valores próprios) Guarabira .....	75
Figura 32 - Correlação entre CP1 e as variáveis de Guarabira.....	76
Figura 33 - Correlação entre CP2 e as variáveis de Guarabira.....	77
Figura 34 - Gráfico <i>biplot</i> das duas primeiras CP e os <i>loadings</i> da cidade de Guarabira .....	77
Figura 35 - Gráfico <i>scree-plot</i> (número de componentes principais versus valores próprios) Araçagi/Cuitegi/Guarabira.....	78
Figura 36 - Correlação entre CP1 e os <i>loadings</i> e as variáveis das três cidades .....	79
Figura 37 - Correlação entre CP2 e as variáveis do conjunto das três cidades .....	80
Figura 38 - Correlação entre CP3 e os <i>loadings</i> e as variáveis das três cidades .....	80
Figura 39 - Gráfico <i>biplot</i> das duas primeiras CP e os <i>loadings</i> do conjunto de dados das três cidades .....	81

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Padrão de turbidez para água pós-desinfecção (para águas subterrâneas) ou pós-filtração .....	24
Tabela 2 - Padrão bacteriológico da água para consumo humano .....	27
Tabela 3 - Adutoras pertencentes ao Estado da Paraíba.....	36
Tabela 4 - Principais causas de redução de escoamento das canalizações .....	36
Tabela 5 - Valores de correlação entre variáveis.....	37
Tabela 6 - Estações de Tratamento do Sistema Integrado Araçagi/Tauá .....	45
Tabela 7 - Linhas adutoras pertencentes ao sistema de Cuitegi .....	47
Tabela 8 - Parâmetros estatísticos descritivos dos dados amostrais dos pontos de coleta da cidade de Araçagi-Ano/2020 .....	51
Tabela 9 - Valores relativos ao intervalo e frequência dos dados das variáveis da cidade de Araçagi.....	52
Tabela 10 - Parâmetros estatísticos descritivos dos dados amostrais dos pontos de coleta da cidade de Cuitegi-Ano/2020 .....	53
Tabela 11 - Valores relativos ao intervalo e frequência dos dados das variáveis da cidade de Cuitegi.....	54
Tabela 12 - Parâmetros estatísticos descritivos dos dados amostrais dos pontos de coleta da cidade de Guarabira-Ano/2020.....	55
Tabela 13 - Valores relativos ao intervalo e frequência dos dados das variáveis da cidade de Guarabira .....	56
Tabela 14 - Teste de normalidade para as variáveis da cidade de Araçagi .....	63
Tabela 15 - Teste de normalidade para as variáveis da cidade de Cuitegi .....	63
Tabela 16 - Teste de normalidade para as variáveis da cidade de Guarabira .....	63
Tabela 17 - Matriz de correlação de Spearman dos dados coletados na cidade de Araçagi ..	64
Tabela 18 - Matriz de correlação de Spearman dos dados coletados na cidade de Cuitegi ..	65
Tabela 19 - Matriz de correlação de Spearman dos dados coletados na cidade de Guarabira .....	66
Tabela 20 - Características das componentes principais – Araçagi.....	68
Tabela 21 - Coeficientes de correlação das CP de Araçagi .....	69
Tabela 22 - Características das componentes principais – Cuitegi .....	71
Tabela 23 - Coeficientes de correlação das CP de Cuitegi.....	72

Tabela 24 - Características das componentes principais – Guarabira .....	75
Tabela 25 - Coeficientes de correlação das CP de Guarabira.....	76
Tabela 26 - Características das componentes principais – Araçagi/Cuitegi/Guarabira.....	78
Tabela 27 - Coeficientes de correlação entre as variáveis e as CP – Araçagi/Cuitegi/Guarabira .....	79

## **LISTA DE ABREVIACÕES**

**ABNT** – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS

**ACP** – ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS

**ANA** – AGENCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO

**CP1** – PRIMEIRA COMPONENTE PRINCIPAL

**CP2** – SEGUNDA COMPONENTE PRINCIPAL

**CP3** – TERCEIRA COMPONENTE PRINCIPAL

**CP4** – QUARTA COMPONENTE PRINCIPAL

**CRC** – CLORO RESIDUAL COMBINADO

**CRL** – CLORO RESIDUAL LIVRE

**CT** – COLIFORMES TOTAIS

**DPD** - SULFATO DE N, N – DIETIL – P - FENILENEDIAMINA

**ETA** – ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA

**pH** – POTENCIAL HIDROGENIONICO

**SFA** – SULFATO FERROSO AMONICAL

**TURB** – **TURBIDEZ**

**uH** – UNIDADE HAZEN

**uT** – UNIDADE DE TURBIDEZ

**UV** – ULTRA VIOLETA

**VMP** – VALOR MÁXIMO PERMITIDO

**VMR** – VALOR MÁXIMO RECOMENDADO

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	15
<b>1.1 Objetivo geral</b> .....	17
<b>1.2 Objetivos específicos</b> .....	17
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	18
<b>2.1 Monitoração de controle e de vigilância da qualidade da água</b> .....	19
<i>2.1.1 Programa vigiagua</i> .....	20
<b>2.2 Indicadores sentinelas e indicadores auxiliares</b> .....	21
<i>2.2.1 Cloro residual livre</i> .....	22
<i>2.2.2 Turbidez</i> .....	23
<i>2.2.3 Potencial hidrogeniônico (pH)</i> .....	25
<i>2.2.4 Indicadores microbiológicos</i> .....	26
<b>2.3 Sistema de abastecimento de água</b> .....	28
<i>2.3.1 Mananciais</i> .....	29
<i>2.3.2 Captação</i> .....	29
<i>2.3.3 Adução</i> .....	29
<i>2.3.4 Estações elevatórias</i> .....	30
<i>2.3.5 Estações de tratamento de água (ETA)</i> .....	30
<i>2.3.5.1 Coagulação</i> .....	31
<i>2.3.5.2 Floculação</i> .....	32
<i>2.3.5.3 Decantação</i> .....	32
<i>2.3.5.4 Filtração</i> .....	32
<i>2.3.5.5 Desinfecção</i> .....	32
<i>2.3.6 Reservatórios</i> .....	33
<i>2.3.7 Rede de distribuição</i> .....	33
<b>2.4 Sistemas de abastecimento isolados e integrados</b> .....	34
<b>2.5 Características das amostras bivariadas</b> .....	37
<b>2.6 Análise de Componentes Principais – ACP/PCA</b> .....	38
<i>2.6.1 Retenção de componentes principais</i> .....	39
<b>2.7 Rotação dos fatores</b> .....	40
<i>2.7.1 Método Varimax</i> .....	40
<i>2.7.2 Método Quartimax</i> .....	41
<i>2.7.3 Método Equimax/Equamax</i> .....	41

2.8 Validando o modelo de análise fatorial.....	42
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>43</b>
3.1 Área de estudo.....	43
3.2 Sistema de tratamento de água Araçagi/Tauá .....	45
3.3 Sistema de abastecimento de água Araçagi/Tauá.....	46
3.4 Pontos de monitoramento e coleta de dados .....	48
3.5 Métodos das análises físico-químicas .....	49
3.6 Análise estatística dos dados .....	49
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>51</b>
4.1 Análise exploratória dos dados.....	51
4.1.1 <i>Dados amostrais dos pontos de coleta da cidade de Araçagi</i> .....	51
4.1.2 <i>Intervalo e frequência dos dados das variáveis da cidade de Araçagi</i> .....	52
4.1.3 <i>Dados amostrais dos pontos de coleta da cidade de Cuitegi</i> .....	53
4.1.4 <i>Intervalo e frequência dos dados das variáveis da cidade de Cuitegi</i> .....	53
4.1.5 <i>Dados amostrais dos pontos de coleta da cidade de Guarabira</i> .....	55
4.1.6 <i>Intervalo e frequência dos dados das variáveis da cidade de Cuitegi</i> .....	56
4.2 Análise comparativa descritiva entre R0-Araçagi/pontos de coleta de Araçagi.....	57
4.3 Análise comparativa descritiva entre R0-Cuitegi/pontos de coleta de Cuitegi.....	58
4.4 Representações gráficas entre os pontos de coleta de Araçagi, Cuitegi e Guarabira.	60
4.5 Correlação linear entre as variáveis .....	62
4.5.1 <i>Teste de normalidade</i> .....	62
4.5.2 <i>Matriz de correlação de Spearman – Araçagi</i> .....	63
4.5.3 <i>Matriz de correlação de Spearman– Cuitegi</i> .....	65
4.5.4 <i>Matriz de correlação – Guarabira</i> .....	66
<b>4.6 ANÁLISE MULTIVARIADA .....</b>	<b>67</b>
4.6.1 <i>Análise de componentes principais</i> .....	67
4.6.2 <i>ACP dos dados da cidade de Araçagi</i> .....	67
4.6.3 <i>ACP dos dados da cidade de Cuitegi</i> .....	71
4.6.4 <i>ACP dos dados da cidade de Guarabira</i> .....	75
4.6.5 <i>ACP baseada na matriz única com somatório dos dados de Araçagi, Cuitegi e Guarabira</i> .....	78
<b>5 CONCLUSÕES.....</b>	<b>82</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>83</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O abastecimento de água de uma comunidade é uma das principais ações de saneamento básico, por ter efeito direto sobre o bem-estar físico, mental e social da população, e por constituir-se uma barreira sanitária da maior relevância contra a incidência de doenças de veiculação hídrica. Conforme Rodella (2014), o aumento na demanda de água como também a poluição dos recursos hídricos estão associados ao desenvolvimento econômico e, conseqüentemente, ao crescimento rápido e desordenado das cidades.

Os sistemas de abastecimento de água têm a finalidade de produção e distribuição de água potável para a população. Conforme Rückert (2016), foi na Europa onde se teve início da criação e expansão das redes de abastecimento de água, com o intuito de prover a saúde pública através da modernização dos sistemas de abastecimento de água. Sistemas de abastecimento podem, em função de sua abrangência, ser classificados em sistemas isolados, quando abastecem a uma comunidade, e sistemas integrados, quando abastecem a múltiplas comunidades.

Segundo Ghisi (2005), a água não se encontra distribuída uniformemente no território brasileiro, observando-se déficit hídrico em algumas regiões. Na região semiárida do Brasil particularmente na região Nordeste, que possui 62% de sua área inserida no Polígono das Secas (MARENGO, 2010), há uma quantidade significativa de sistemas integrados onde, às vezes, o manancial se encontra a quilômetros de distância dos pontos de consumo. Na Paraíba, observam-se alguns exemplos de sistemas integrados, como o que abastece as cidades de João Pessoa, Bayeux, Cabedelo e Santa Rita, com águas dos Açudes Gramame/Mamuaba e Marés e rio Mumbaba. Segundo ANA (2010) o sistema integrado Abiaí-Papocas está previsto para entrar em operação em 2025 visando aumentar a oferta de água em  $4,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  para reforçar o abastecimento de João Pessoa, Cabedelo, Conde, Bayeux e Santa Rita.

No que pese a grande vantagem logística e de custo desses sistemas, há a preocupação com a degradação da qualidade da água tratada ao longo do seu transporte, às vezes por dezenas de quilômetros de linhas adutoras. Ao longo do transporte, a degradação da qualidade da água é caracterizada pela perda significativa do desinfetante cloro residual livre e aumento da turbidez, os quais de acordo com a Portaria GM/MS nº 888/2021, têm o caráter de indicadores sentinelas por serem capazes de indicar, precocemente, o estado de deterioração da água, prenunciando riscos possíveis para as comunidades.

O grupo de pesquisa Saúde Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba tem, ao longo de mais de uma década, investigado a degradação da qualidade de água de sistemas de

abastecimento de água do estado da Paraíba, com base em indicadores sentinelas, indicadores auxiliares (temperatura, pH, condutividade elétrica) e indicadores microbiológicos, concluindo sobre a importância desses indicadores em programas de controle e de vigilância da qualidade da água. Esses trabalhos, no entanto, foram, majoritariamente, desenvolvidos em sistemas isolados.

Este trabalho de pesquisa utilizou para a análise exploratória dos dados as medidas de tendência central e de dispersão e, para análise estatística multivariada, foi utilizada a Análise em Componentes Principais que teve como objetivo avaliar a qualidade da água de abastecimento humano do sistema integrado de ARAÇAGI/TAUÁ localizado no estado da Paraíba.

## **1.1 Objetivo geral**

Avaliar as alterações da qualidade da água de abastecimento humano ao longo dos sistemas de distribuição de água do sistema integrado de ARAÇAGI/TAUÁ, localizado no Agreste paraibano.

## **1.2 Objetivos específicos**

- Verificar o grau de conformidade dos indicadores com os padrões de potabilidade;
- Explicar, através de Análise Multivariada, a variância das variáveis de qualidade monitoradas.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

De acordo com a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2010), o Brasil é um dos países com maior disponibilidade de água, entretanto, grande parte dessa água está concentrada em regiões onde há menor concentração populacional. Um exemplo é a região hidrográfica amazônica que tem a maior bacia hidrográfica do planeta, porém possui a menor densidade demográfica do Brasil. Nessa realidade, embora com superávit hídrico, os perigos em torno do abastecimento de água para consumo humano, são a falta de cobertura do serviço e a poluição dos mananciais, particularmente no ambiente urbano com deficiência na cobertura de sistemas de esgotamento sanitário e na gestão dos resíduos sólidos e das águas pluviais.

Por outro lado, a Região Metropolitana de São Paulo que concentra um vigoroso parque industrial e um contingente de mais de 15 milhões de habitantes, situa-se numa região de cabeceira do Rio Tietê, relativamente pobre de água, caracterizando uma situação de déficit hídrico que pode vir a comprometer o abastecimento de água.

Ainda segundo a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (2010), nos grandes centros urbanos do Brasil há elevada densidade demográfica e, com isso, uma forte demanda por água que, na maioria das vezes, é atingida pela poluição, dificultando o abastecimento de água potável.

Para Massoud; Al-Abady; Jurdi (2010) a falta de água além de ser uma pesada carga para as populações, pode ser considerada um estado crítico para a saúde pública, logo a distribuição de água tratada para consumo humano deve ser feita de forma regular, pois a falta de acesso à água potável pode fazer com que a população a armazene de forma irregular, trazendo riscos à saúde.

Com o intuito de não oferecer riscos à saúde dos consumidores, a água destinada para consumo humano deve ser isenta de agentes patogênicos. Diante deste fato, há necessidade de prévio tratamento dessa água, pois devido ao seu último contato com o solo através do escoamento superficial ou subterrâneo, ela pode conter patógenos de natureza física, química ou microbiológica.

Conforme Brasil (2006), é imposta às concessionárias de abastecimento de água conjuntos de ações voltadas ao controle e à vigilância da qualidade da água, visando a oferta de água segura à população, enquanto as ações voltadas para o controle são de responsabilidade do serviço de abastecimento e, o conjunto de ações de vigilância, é de responsabilidade da autoridade pública de saúde.

## 2.1 Monitoração de controle e de vigilância da qualidade da água

Os gestores da área da saúde têm se mostrado cada vez mais preocupados com a qualidade e a quantidade da água que é consumida pela população, pois, conforme a Funasa (1999), a quantidade de água consumida pode variar de acordo com a existência ou não de um abastecimento público, o acesso a este abastecimento, hábitos da população consumidora da água, ou também pode estar relacionada às atividades das indústrias e comércios de uma determinada comunidade. Devido a esses fatos, surge uma constante necessidade do acompanhamento da qualidade da água, desde à sua captação nos mananciais até os pontos de consumo.

Conforme Carmo et al. (2008), a expressão vigilância pode ser interpretada como uma avaliação frequente de inúmeros aspectos com a finalidade de identificar possíveis riscos à saúde humana. Devido à condição dinâmica que a água apresenta, o caráter preventivo mostra-se como um grande desafio para os órgãos responsáveis pela vigilância, necessitando de ações efetivas em todo o sistema, desde à captação até os pontos de consumo.

As péssimas condições sanitárias somadas à falta de disponibilidade de água potável geram fatores preponderantes nas transmissões de doenças de veiculação hídrica. Para Funasa (1999), muitos problemas são encontrados nos sistemas de abastecimento de água, tais como:

- O estado de conservação das instalações de abastecimento (deficiências no projeto ou em sua manutenção);
- Ineficiência na desinfecção da água para consumo humano que geralmente ocorre em pequenas localidades;
- Contaminação dos mananciais (subterrâneos e superficiais) devido à falta e/ou falhas nas estruturas dos sistemas de esgotamento sanitário, inexistência de um sistema depurador das águas residuárias e inadequação no tratamento dos resíduos sólidos.

Segundo a Portaria GM/MS 888/2021, a vigilância da qualidade da água para consumo humano é o conjunto de ações adotadas regularmente pela autoridade de saúde pública para verificar e avaliar se a água consumida pela população apresenta risco à saúde. De acordo com a Funasa (2006), caso não haja atendimento a essas exigências, ações corretivas deverão ser tomadas pelo setor de saúde para com os responsáveis pelo fornecimento e tratamento da água.

A água pode sofrer várias alterações em sua qualidade, desde o manancial até o consumo, e em certos casos, ser imprópria para o consumo humano, logo, a disponibilidade de água a ser

consumida irá depender da qualidade da água bruta, de seu estado de conservação, em que estado de conservação os equipamentos e instalações se encontram e a eficiência do controle operacional dos processos de tratamento. Várias situações que são classificadas como perigo podem ser identificadas no sistema de abastecimento de água, dessa forma pondo em risco a população.

Segundo Brasil (2006), no sistema de tratamento de água, tanto o controle da qualidade da água quanto sua vigilância são instrumentos importantes para a garantia da proteção dos consumidores, sendo esse controle/vigilância exercido pelos órgãos de saúde. Ainda segundo o mesmo autor, não se pode afirmar que mesmo as operações e a manutenção estejam adequadas às normas, não há como garantir que a água esteja livre de pôr em risco a saúde humana.

### **2.1.1 Programa vigiagua**

O Programa Nacional de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano (Vigiagua) consiste no conjunto de ações adotadas continuamente pelas autoridades de saúde pública para garantir à população o acesso à água em quantidade suficiente e qualidade compatível com o padrão de potabilidade, estabelecido na legislação vigente (Portaria GM/MS Nº 888/2021) como parte integrante das ações de prevenção dos agravos transmitidos pela água e de promoção da saúde, previstas no Sistema Único de Saúde (SUS) (BRASIL, 2021). Ainda segundo o mesmo autor, o Vigiagua tem suas ações desenvolvidas pelas Secretarias de Saúde Municipais, Estaduais, e do Distrito Federal e pelo Ministério da Saúde, por meio da Coordenação Geral de Vigilância em Saúde Ambiental.

O Sisagua é uma ferramenta utilizada pelo vigiagua que tem a finalidade de gerir riscos através dos dados produzidos no setor de saúde, como também pelos responsáveis do sistema de abastecimento de água. Segundo Brasil (2021), deve-se haver uma geração de informações em um tempo hábil para que se possa tomar decisões na execução de ações que estejam relacionadas à água de consumo humano.

Para Júnior (2018), as informações que são utilizadas na análise de saúde no abastecimento de água são geradas pelo Sisagua e tem a finalidade de minimizar os riscos associados ao consumo da água que não atenda às normas de padrão de potabilidade. O mesmo autor ainda ressalta que o Sisagua recebe os dados de controle das análises da água automaticamente, esses dados são relativos aos parâmetros básicos físico-químico (CRL, pH, cor, turbidez dentre outros) e microbiológico (Coliformes totais, *E. Coli*) que são referentes à vigilância.

Esses parâmetros básicos possuem a característica de indicador da qualidade da água,

pois é através deles que se podem identificar, precocemente, alguma alteração na qualidade da água que possa afetar à saúde dos consumidores. Tais indicadores podem ser denominados de indicadores sentinelas e indicadores auxiliares.

Além do Sisagua, no Brasil, as informações sobre o abastecimento de água também podem ser obtidas através dos seguintes órgãos:

- Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS);
- Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (SNSA);
- Ministério das Cidades (MCid);
- Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD), que é realizada pelo (IBGE).

## **2.2 Indicadores sentinelas e indicadores auxiliares**

Desde a saída da estação de tratamento até o momento do consumo o processo de tratamento de água não oferece uma qualidade permanente em sua potabilidade, logo, visando monitorar essa qualidade no sistema de abastecimento, em todo o seu trajeto, as autoridades de saúde pública propuseram indicadores de qualidade que são utilizados pelo serviço de abastecimento, em sua monitoração de controle, com a finalidade de garantir que a água seja segura para o consumo humano. Os principais indicadores da qualidade da água são agrupados sob os aspectos físicos, químicos e biológicos (BRASIL, 2014). De acordo com a Portaria GM/MS nº 888/2021, a água para consumo humano deve atender a padrão de potabilidade, de forma que não ofereça riscos microbiológicos, físicos, químicos e radioativos.

Na monitoração de vigilância, o Ministério da Saúde propôs o cloro residual livre e a turbidez como indicadores mínimos, cumprindo o papel de indicadores sentinelas da qualidade da água de abastecimento. Esse caráter sentinela, de forte conotação epidemiológica, tem a ver com o papel desses indicadores como sinalizadores precoces de alterações da qualidade da água que segundo Brasil (2006), podem resultar em doenças que podem ser prevenidas e controladas através de medidas de saneamento básico.

Outros indicadores como a temperatura, pH, condutividade elétrica, alcalinidade, dureza, além daqueles de controle microbiológico, indicando a presença ou ausência de coliformes totais e *Escherichia coli*, podem ser associados como indicadores auxiliares à monitoração de vigilância da qualidade da água.

### 2.2.1 *Cloro residual livre*

Considerado como um dos indicadores sentinelas, o cloro residual livre (CRL) é utilizado no sistema de tratamento de água como agente desinfetante, pois o processo de desinfecção da água tem como objetivo eliminar microrganismos, já que não se pode garantir a remoção desses organismos utilizando somente as operações de clarificação da água. A desinfecção tem caráter corretivo e preventivo, considerando que a água pode ser recontaminada, ao longo do percurso até o consumo. Conforme Rodrigues (2018), a desinfecção depende das características físico-químicas do agente desinfetante, sua interação com os microrganismos como também a qualidade da água bruta.

De acordo com a Portaria GM/MS nº 888/2021, o agente desinfetante tem a função de destruir ou inativar organismos patogênicos que possam estar presentes na água e, dessa forma, prevenir a propagação de doenças de veiculação hídrica. Desde as primeiras portarias do Ministério da Saúde para o estabelecimento de padrões de potabilidade, a concentração mínima de CRL a ser obrigatoriamente mantida em qualquer ponto da rede de distribuição é de 0,2 mgCl<sub>2</sub>.L<sup>-1</sup>, sendo o teor máximo recomendado de 2,0 mgCl<sub>2</sub>.L<sup>-1</sup>. Além da ação desinfetante, o CRL age como agente oxidante de substâncias orgânicas e inorgânicas presentes na água.

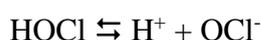
Embora haja remoção de microrganismos nas demais etapas do tratamento de água, é na desinfecção onde ocorre a inativação desses microrganismos, impedindo o crescimento microbiológico nas redes de distribuição de água, logo, a desinfecção é a principal finalidade do uso do cloro nos sistemas de abastecimento de água. Neves (2016) destacou que a desinfecção tem papel importante na saúde pública, tendo como finalidade minimizar doenças transmissíveis pela água.

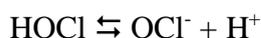
O cloro presente na água apresenta-se nas formas do ácido hipocloroso (HOCl) e íon hipoclorito (OCl<sup>-</sup>), sendo denominado de cloro residual livre. As reações resultantes da aplicação de tipos de produtos clorados em água são representadas nas Equações 1, 2 e 3.

#### **CLORO-GÁS**



#### **COMPOSTOS CLORADOS**





Segundo Gray (1996), essa superioridade de desinfecção do HOCl em relação ao OCl<sup>-</sup> se dá pelo fato que o ácido hipocloroso tem molécula menor que o íon hipoclorito, facilitando sua entrada na parede celular dos microrganismos. Devido à sua carga negativa, o íon hipoclorito (OCl<sup>-</sup>) não pode penetrar livremente na célula. Segundo Gerard et al. (2016), o cloro é um forte agente oxidante, que impede o funcionamento de boa parte do sistema enzimático celular, sendo o ácido hipocloroso a forma mais eficaz de cloro, pois tem carga elétrica neutra e se difunde tão rapidamente quanto a água pela parede celular.

A concentração de cloro tende a diminuir ao longo da rede de distribuição de água, podendo sua concentração ser muito diferente nos pontos de consumo, em relação à concentração na saída da estação de tratamento. Esse decaimento na concentração do cloro é ocasionado pelas reações do CRL com as substâncias orgânicas e inorgânicas que podem estar presentes na água. Reações do CRL com os materiais da rede de distribuição de água tratada, como tubulações e reservatórios também contribuem para o decréscimo da concentração de cloro no sistema.

A ação do cloro na água irá depender de alguns fatores como temperatura, pH, turbidez, a sua concentração na água, a forma como se apresentará (cloro residual livre ou combinado) e o tempo de contato.

### **2.2.2 Turbidez**

A presença de partículas suspensas no corpo de água, podendo ser de origem orgânica ou inorgânica, interfere na passagem da luz proporcionando um aspecto turvo nessa água. A turbidez dos corpos d'água é particularmente alta em regiões com solos erodíveis onde a precipitação pluviométrica pode carrear partículas de argila, silte, areia, fragmentos de rocha e óxidos metálicos do solo (BRASIL, 2014).

De acordo com a Funasa (2014), ao contrário da cor, que é causada por substâncias dissolvidas, a turbidez (em função de seu diâmetro e características elétricas, formam dispersões coloidais, que se mantêm, mesmo em condições de fluxo hidráulico lântico) é provocada por partículas em suspensão, podendo ser, portanto, reduzida por sedimentação. A turbidez não pode ser considerada apenas como um indicador para fins estéticos, mas sanitário, pois, segundo Brasil (2006), a presença de microrganismos também pode contribuir para o aumento da

turbidez da água, devendo ser registrada a atenção dada, nos últimos anos, aos biofilmes formados por bactérias no interior das canalizações.

Em seus estudos sobre biofilmes, Walker et al. (1995) afirmaram que microrganismos patogênicos podem ficar agregados ao biofilme. Kiéné et al. (1998) afirmaram que pode haver formação de zonas anaeróbias em torno do biofilme, como também haver corrosão das tubulações e consumo de CRL, além da produção de metabólitos por parte dos microrganismos que podem causar sabor e odor à água.

Trabalhos como Chaves (2004), vêm sendo desenvolvidos no mundo sobre o papel que esses biofilmes desenvolvem na degradação da qualidade da água, como por exemplo sua associação com doenças parasitárias, a exemplo da criptosporidiose, mesmo em sistemas de abastecimento bem operados de países desenvolvidos. Diante do exposto, evidencia-se a importância da turbidez como um indicador sentinela.

Estão descritos na Tabela 1, os valores para o padrão de turbidez para água pós-desinfecção (para águas subterrâneas) ou pós-filtração. Estes valores são estabelecidos na Portaria GM/MS nº 888/2021.

**Tabela 1:** Padrão de turbidez para água pós-desinfecção (para águas subterrâneas) ou pós-filtração.

TRATAMENTO DA ÁGUA	VMP	Nº DE AMOSTRAS	FREQUÊNCIA
Filtração rápida (tratamento completo ou filtração direta)	0,5 uT em 95% das amostras. 1,0 uT no restante das amostras mensais coletadas.	1	A cada 2 horas
Filtração em Membrana	0,1 uT em 99% das amostras.	1	A cada 2 horas
Filtração lenta	1,0 uT em 95% das amostras. 2,0 uT no restante das amostras mensais coletadas.	1	Diária
Pós-desinfecção (para águas subterrâneas)	1,0 uT em 95% das amostras. 5,0 uT no restante das amostras mensais coletadas.	1	Semanal

Fonte: Brasil, 2021.

É adotado um padrão de aceitação de 5,0 uT para o consumo humano da água distribuída em qualquer ponto da rede. Segundo Brasil (2006), quando a turbidez for de 0,5 uT e houver atendimento ao padrão mínimo de CRL, a eficiência de remoção para vírus e Giardia será de 99%.

### 2.2.3 Potencial hidrogeniônico (pH)

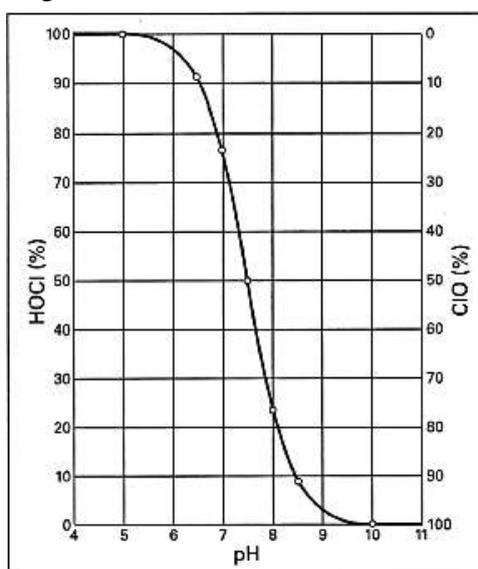
O potencial hidrogeniônico (pH) representa a intensidade das condições ácidas ou básicas do meio líquido, por meio da medição da atividade de íons hidrogênio ( $H^+$ ). É calculado em escala antilogarítmica, abrangendo a faixa de 0 a 14, indicando condições ácidas se inferior a 7 e condições básicas se superior a 7.

Estudos como o de Libânio (2010) ressaltam a importância do controle do pH na saída do tratamento de água, com a finalidade de evitar a corrosão das tubulações e equipamentos devido à acidez da água, como também evitar incrustações devido à basicidade. Nas águas naturais, o pH geralmente varia de 5,5 a 9,5 (BERNARDO e PAZ, 2008).

O valor do pH da água deve estar no intervalo de 6,0 a 9,0, pois, essa faixa é favorável à manutenção do sistema de abastecimento de água, além de ser fisiologicamente adequada ao consumo humano (BRASIL,2021), é um dos principais indicadores físico-químicos da água e seu controle é fundamental, pois a maioria das etapas de tratamento depende do pH.

Em solução aquosa, com valores de pH inferiores a 6,0 a dissociação do ácido hipocloroso é fraca, sendo predominante a forma não-dissociada (HOCl). A clássica Figura 1 ilustra as percentagens relativas de HOCl e  $OCl^-$  em relação ao pH do meio. É notório que, em pH ácido, a predominância será do ácido hipocloroso, em pH acima de 7,5 haverá maior formação do íon hipoclorito.

**Figura 1:** Percentagem relativa de HOCl e  $OCl^-$  em relação ao pH do meio.

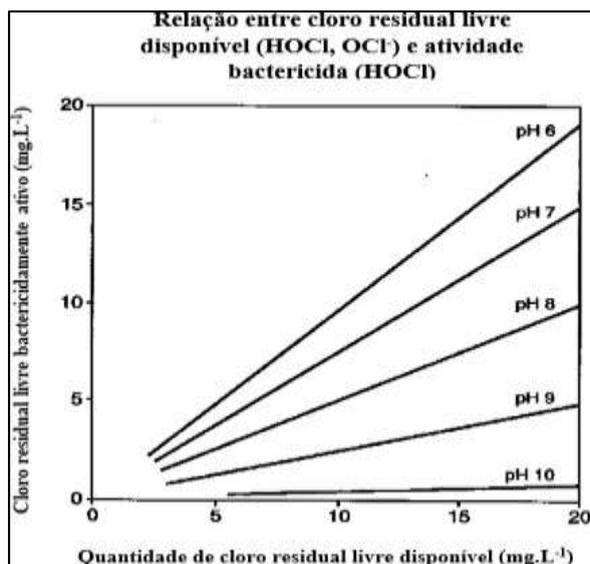


Fonte: SAWYER et al. (2003).

Por esse motivo é recomendado que a desinfecção com cloro residual livre seja realizada

em valores de pH mais baixos, preferencialmente menores que 7. Na Figura 2, pode-se ver a relação bactericida entre o cloro residual livre e o ácido hipocloroso quando comparadas a faixas específicas de pH, ou seja, quanto menor o pH do meio e maior concentração de CRL disponível, mais significativa será a concentração de CRL bactericida ativo.

**Figura 2:** Relação bactericida entre o cloro residual livre e o ácido hipocloroso.



Fonte: MACEDO (2004, com adaptações).

#### 2.2.4 Indicadores microbiológicos

Além dos indicadores físico-químicos (CRL, pH, condutividade) na monitoração da água, também são utilizados indicadores de qualidade microbiológica, pois, a presença de algumas classes de bactérias pode indicar contaminação da água. As bactérias heterotróficas são microrganismos que têm a capacidade de metabolizar o carbono orgânico. Apesar de não serem consideradas como patogênicas, a sua presença na água serve de indicador de qualidade bacteriológica.

A presença de coliformes totais (CT) e *Escherichia coli* (E. coli) nas águas tratadas é um importante indicador de contaminação, podendo indicar falhas no sistema de tratamento ou uma possível recontaminação pós-tratamento, logo, esses microrganismos são considerados como indicadores de qualidade microbiológica da água. As bactérias do grupo coliforme, por exemplo, podem indicar a presença de material fecal, pois essa classe de microrganismo tem origem no trato intestinal de animais de sangue quente, como exemplo os seres humanos.

Os sistemas de abastecimento de água têm a finalidade de remover microrganismos a fim de garantir uma água segura para o consumo humano. Embora possam ocorrer

microrganismos diversos na água, comumente as bactérias, os vírus e os protozoários são os mais relevantes do ponto de vista da saúde pública.

As principais doenças associadas à contaminação biológica dos recursos hídricos são cólera, febre tifoide, salmoneloses, disenteria bacilar, giardíase, amebíase, viroses, entre outras (DI BERNARDO; DANTAS, 2005). A Portaria GM/MS nº 888/2021 considera água potável toda água que atenda ao padrão de potabilidade e que não oferece risco à saúde.

De acordo com o Ministério da Saúde, esses indicadores devem ser monitorados para verificação do atendimento aos padrões de potabilidade para que a água tenha um nível de segurança aceitável para o consumo. Na Tabela 2 são apresentados o padrão bacteriológico da água para consumo humano.

**Tabela 2:** Padrão bacteriológico da água para consumo humano.

FORMAS DE ABASTECIMENTO		PARÂMETRO		VMP <sup>(1)</sup>
SAI		Escherichia coli <sup>(2)</sup>		Ausência em 100 mL
SAA e SAC	Na saída do tratamento	Coliformes totais <sup>(3)</sup>		Ausência em 100 mL
	Sistema de distribuição e pontos de consumo	Escherichia coli <sup>(2)</sup>		Ausência em 100 mL
		Coliformes totais <sup>(4)</sup>	Sistemas ou soluções alternativas coletivas que abastecem menos de 20.000 habitantes	Apenas uma amostra, entre as amostras examinadas no mês pelo responsável pelo sistema ou por solução alternativa coletiva de abastecimento de água, poderá apresentar resultado positivo.
			Sistemas ou soluções alternativas coletivas que abastecem a partir de 20.000 habitantes	Ausência em 100 mL em 95% das amostras examinadas no mês pelo responsável pelo sistema ou por solução

				alternativa coletiva de abastecimento de água.
--	--	--	--	---

**Fonte:** Brasil, 2021.

#### NOTAS:

(1) Valor Máximo Permitido

(2) Indicador de contaminação fecal.

(3) Indicador de eficiência de tratamento.

(4) Indicador da condição de operação e manutenção do sistema de distribuição de SAA e pontos de consumo e reservatório de SAC em que a qualidade da água produzida pelos processos de tratamento seja preservada (indicador de integridade).

### 2.3 Sistema de abastecimento de água

Segundo a Portaria GM/MS nº 888/2021, o sistema de abastecimento de água para consumo humano consiste em um conjunto de obras civis, materiais e equipamentos, desde a zona de captação até as zonas prediais, destinado à produção e fornecimento coletivo de água potável por meio de rede de distribuição.

Para Vieira (2013), quando um sistema de abastecimento de água é bem mantido e operado de forma adequada, a taxa de incidência de doenças de veiculação hídrica poderá ser reduzida em até 70%. A água tratada deve ser distribuída de forma regular, pois a falta de acesso a esse serviço pode fazer a população armazenar a água de forma inadequada. Segundo Alves (2014), geralmente os sistemas de tratamento de água são antigos, deficientes em suas unidades, operando de forma empírica, em que na maioria das vezes o administrador toma decisões com certo grau de incerteza acarretando em maior incidência de risco.

Para (HUSBAND; BOXALL, 2011; AL-JASSER, 2007; CRAUN et al., 2010), surtos de contaminação de água vem perdurando mesmo com o avanço tecnológico, até mesmo em nações desenvolvidas, tais fatos se dá pelo conhecimento deficiente a respeito dos riscos associados às fontes de água, falhas nos processos de operação e manutenção. Fisher; Kastl; Sathasivan (2012) mencionaram em seu trabalho que, na gestão da qualidade da água, é necessário que haja construção de modelos que sejam capazes de prever a degradação da qualidade da água em diversos cenários caracterizado por diversos fatores, como constituição

e idade das tubulações, manutenção e qualidade da operação.

Um outro fator relevante é a forma de operação dos reservatórios, Nascimento et al (2016) mencionaram em seu trabalho que deve-se levar em consideração a forma que os reservatórios são operados para se avaliar a degradação da qualidade da água, pois se o reservatório funcionar através da sucção haverá uma constante renovação da água, contudo, se funcionar em regime de batelada haverá um favorecimento da estagnação da água, contribuindo para a sua degradação e um maior consumo de cloro residual livre. É importante, no entanto, reconhecer que, em alguns cenários, particularmente caracterizados por déficit hídrico, baixo desempenho econômico e gestão baseada em políticas públicas frágeis, incapacidade de planejamento e gerenciamento e falta de controle social.

O sistema de abastecimento de água é composto por etapas e estruturas, as quais devem ser objeto do processo de gestão de riscos, com vistas ao fornecimento de água segura para a população. Essas etapas e estruturas são:

### **2.3.1 Mananciais**

São fontes de água utilizadas para o abastecimento público, podendo ser superficiais ou subterrâneas. Segundo Brasil (2014b), ao se captar água de um manancial devem ser levados em consideração fatores, entre os quais a quantidade e a facilidade de captação de água, mas, particularmente, as condições de vulnerabilidade às alterações de sua qualidade relacionadas ao comprometimento da saúde da população. Ações antrópicas vêm afetando a qualidade das águas brutas nos mananciais e, conseqüentemente, acentuando a complexidade do tratamento.

Assim, é de primordial importância a escolha do manancial com vistas ao controle de possíveis perigos à saúde, sendo, portanto, uma etapa importante do projeto de abastecimento de água.

### **2.3.2 Captação**

É o conjunto de equipamentos e instalações com a finalidade de captar a água do manancial e lançá-la no sistema de abastecimento. O tipo de captação depende do manancial e do equipamento que será utilizado.

### **2.3.3 Adução**

Esta fase é constituída por um conjunto de tubulações, peças especiais e obras de arte,

dispostas entre captação e a ETA; captação e o reservatório de distribuição; captação e a rede de distribuição; ETA e o reservatório de distribuição; ETA e a rede de distribuição (BRASIL, 2014b). As adutoras podem ser classificadas como adutora de água bruta, que tem a finalidade de transportar água do manancial até a estação de tratamento de água, e adutora de água tratada, que transporta água da estação de tratamento para o sistema de distribuição de água.

Segundo Brasil (2014b), as adutoras ainda podem ser classificadas de acordo com a energia utilizada para o escoamento da água, podendo ser:

- Adutoras por gravidade: utilizam o desnível dos pontos inicial e final para transportar a água;
- Adutoras por recalque: utilizam bombas e acessórios para o transporte da água;
- Adutoras mistas: quando o sistema de adução utiliza parte por recalque e parte por gravidade.

#### **2.3.4 Estações elevatórias**

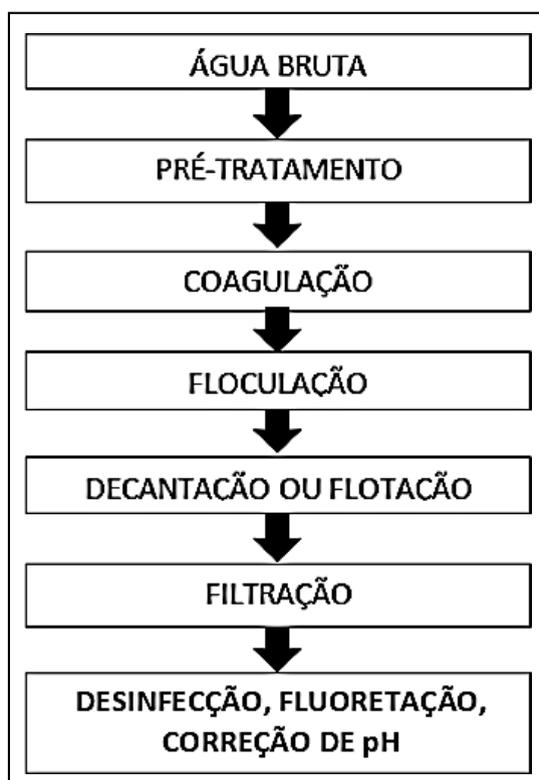
Brasil (2006) define estação elevatória como o conjunto de instalações com a finalidade de bombeamento da água para pontos distantes ou mais elevados. Geralmente são encontradas na captação e na adução, entretanto podem ser encontradas em outros pontos do sistema de abastecimento de água.

#### **2.3.5 Estações de tratamento de água (ETA)**

Para que a água bruta se torne adequada para consumo humano, é necessário que ela passe por tratamento com a finalidade não só de melhorar as suas características organolépticas, como também o atendimento dos padrões sanitários.

As estações de tratamento de água (ETA), de acordo com ABNT (1992), é o conjunto de unidades com a finalidade de produzir água com padrões que estejam em acordo com a Portaria GM/MS nº 888/2021. Isso significa que a qualidade físico-química e microbiológica da água deve atender a padrões de qualidade estabelecidos pelo Ministério da Saúde. A Figura 3 mostra o tratamento de ciclo completo da água para consumo humano.

**Figura 3:** Tratamento de ciclo completo da água para consumo humano.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2020

O tratamento convencional de água é dividido em coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção.

#### 2.3.5.1 Coagulação

Conforme Macedo (2007) a coagulação é considerada o processo mais importante do sistema de tratamento de água, pois, tem a finalidade de remover as partículas ou impurezas presentes na água bruta, este processo ocorre através da adição de agentes coagulantes que se hidrolisam ao serem adicionados à água, desestabilizando as partículas coloidais dispersas para a posterior aglutinação e sedimentação. Os agentes coagulantes mais utilizados no sistema de tratamento de água são o sulfato de alumínio  $Al_2(SO_4)_3$  e o cloreto férrico  $FeCl_3$ .

Estudos como o de Carvalho (2008) mostram que se não houver êxito no processo da coagulação todas as demais fases posteriores do sistema de tratamento estarão comprometidas, obrigando, em certos casos, o descarte de toda a água, por não estar dentro dos padrões de potabilidade. É nesta etapa que é removida a maioria dos microrganismos presentes na água.

#### 2.3.5.2 *Floculação*

A floculação é uma das operações unitárias da clarificação que se constitui de um conjunto de fenômenos físicos, para reduzir o número de partículas suspensas e coloidais presentes na massa líquida (LIBÂNIO, 2010).

É nesse processo que ocorre a formação de flocos das partículas que foram desestabilizadas no processo da coagulação, esses flocos serão removidos posteriormente por sedimentação, flotação ou filtração. A eficiência da floculação irá depender da eficiência do processo da coagulação.

#### 2.3.5.3 *Decantação*

Após a floculação, a água é transferida para os decantadores que, devido à força da gravidade, ocorrerá a decantação que é uma operação física que consiste na deposição das impurezas que foram aglutinadas nos processos da coagulação e floculação. Sedimentados os flocos, a água denomina-se decantada (RICHTER E NETTO, 2001).

#### 2.3.5.4 *Filtração*

A filtração constitui-se na operação que tem como função primordial a remoção das partículas responsáveis pela turbidez, cuja presença reduziria a eficácia da desinfecção na inativação dos microrganismos patogênicos (LIBÂNIO, 2010). Nas ETA's, a filtração é o processo final de remoção de impurezas, pois este processo consiste em fazer com que a água passe por um meio filtrante ou poroso (filtro) para que possa haver remoção de partículas ou alguns microrganismos. O filtro de areia é o mais utilizado nos sistemas de tratamento de água, pois tem baixo custo de manutenção.

#### 2.3.5.5 *Desinfecção*

É considerada como a última barreira para os microrganismos, podendo ser executada usando-se agentes físicos (radiação UV) ou agentes químicos (cloro, iodo, ozônio...). Para que haja eficiência na desinfecção é preciso levar em consideração alguns fatores, tais como a característica da água, quais microrganismos serão inativados e características do agente desinfetante e seu potencial de oxidação.

Estudos como o de Daniel (2001) indicam que, ao se utilizar agentes químicos para a

desinfecção, existem três mecanismos para a inativação de organismos patogênicos:

- Destruição ou desarranjo estrutural da organização celular do microrganismo;
- Interferência no crescimento e na biossíntese (síntese de proteínas, ácidos nucleicos, parede celular);
- Interferência no nível energético do metabolismo.

Conforme Brasil (2014), O agente desinfetante mais utilizado tratamento da água é o cloro, pois, além de não ser nocivo ao homem na dosagem requerida, ser econômico e de fácil aplicação, deixando um residual ativo, mantendo eficiência bactericida mesmo após a sua aplicação.

### **2.3.6 Reservatórios**

As unidades de reservação são tradicionalmente concebidas e operadas tendo como objetivos principais o atendimento às demandas máximas diária e horária, bem como, quando necessário, o combate a incêndios e a outras situações emergenciais, além da equalização das pressões no sistema de distribuição (BRASIL, 2006b).

Os reservatórios podem ser classificados de acordo com sua localização no terreno, podem ser classificados como elevados, apoiados, sobre o solo, semienterrados e enterrados. Em relação à sua posição na rede de distribuição pode ser classificado como reservatório de montante (localizado no início da rede de distribuição de água) e reservatório de jusante (localizado após o sistema de distribuição).

### **2.3.7 Rede de distribuição**

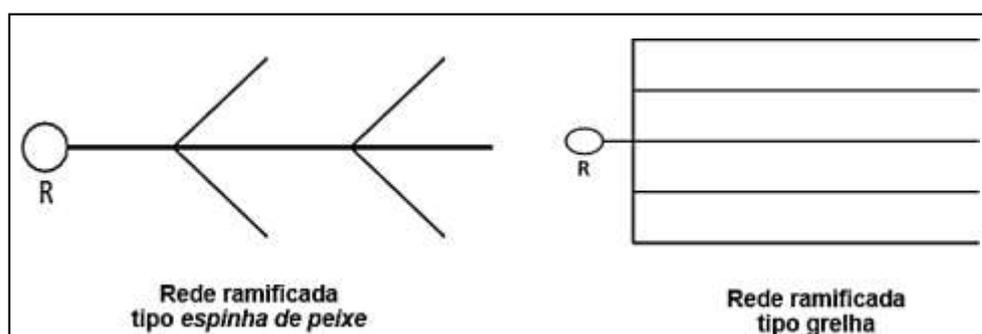
É a última etapa do sistema de abastecimento de água, com finalidade de distribuir a água tratada que sai da ETA levando-a até os pontos de consumo, sempre procurando manter o padrão de potabilidade.

As redes podem ser classificadas de acordo com a disposição dos seus principais condutos, sendo classificadas como redes ramificadas e redes malhadas. Nas redes ramificadas, os condutos estão ligados a um conduto principal, já nas redes malhadas os condutos formam circuitos que têm a disposição de anéis ou malhas.

Nas redes malhadas, graças à forma de circuitos, a interrupção do escoamento em qualquer trecho não necessariamente paralisa setores a jusante, pois o escoamento pode ocorrer segundo sentidos distintos aos condutos principais (BRASIL, 2006b). Essas redes tendem a

minimizar a redução de CRL mais que as redes ramificadas devido à inexistência de pontas secas nas extremidades do sistema. A Figura 4 mostra o esquema de uma rede ramificada tipo espinha de peixe e de uma rede ramificada.

**Figura 4:** Esquema de rede ramificada tipo espinha de peixe e ramificada.



Fonte: BRASIL (2006b).

## 2.4 Sistemas de abastecimento isolados e integrados

Conforme Silva et al. (2004), o Brasil possui grandes reservas de água, porém a maior parte encontra-se afastada dos grandes centros urbanos. Os sistemas de abastecimento urbano de água podem ser classificados como sistemas isolados, quando abastecem apenas um único núcleo urbano, e sistemas integrados, quando abastecem, simultaneamente, mais de um núcleo urbano, até mesmo de diferentes municípios, conforme o Decreto Federal nº 5.440/2005, art.4º,VII. Os sistemas integrados são construídos para atender, principalmente, às demandas de regiões metropolitanas e de regiões com baixa disponibilidade hídrica, como é o caso do semiárido brasileiro.

Ainda de acordo com o Decreto Federal nº 5.440/2005, art.4º,VII o sistema de abastecimento integrado pode se apresentar de duas formas:

1. O sistema abastece simultaneamente mais de um município, ou seja, abastece o município onde está localizado e também abastece outro (s) município (s);
2. Quando, em um único município, existem dois ou mais sistemas de abastecimento de água interligados, ocorrendo mistura da água nas redes de distribuição.

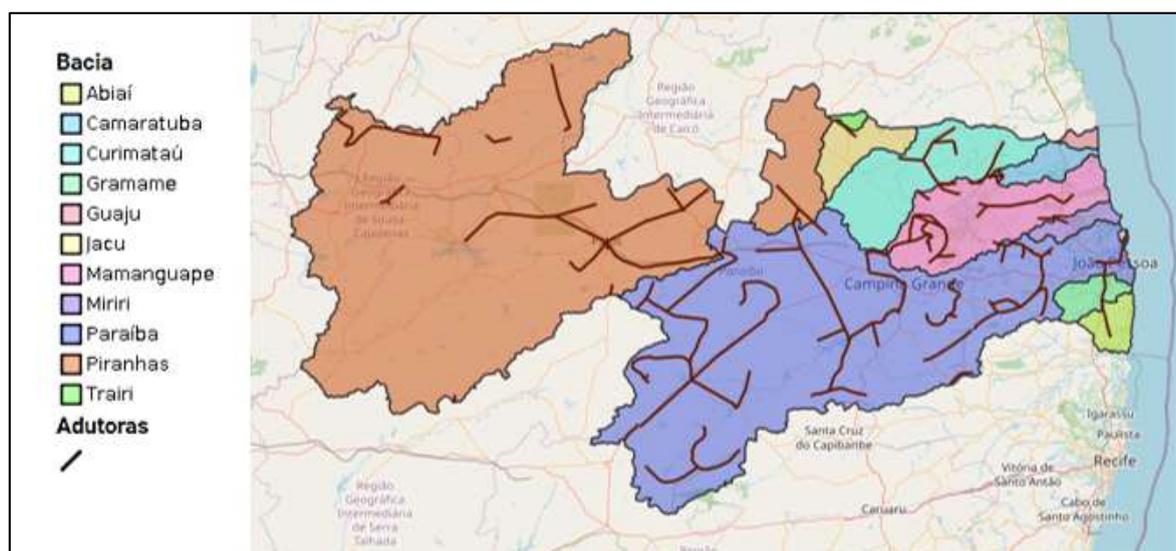
Esse tipo de sistema utiliza adutoras para o transporte da água de um município para o outro. No ano de 2011 existiam 256 adutoras em funcionamento nos municípios brasileiros,

150 destas localizadas na Região Nordeste do Brasil (SNIRH, 2019).

De acordo com a SNIRH (2015), em relação ao sistema de abastecimento urbano, o Brasil possui aproximadamente 14% de seus municípios abastecidos por sistemas integrados, o que equivale a aproximadamente 48% da população brasileira, no estado da Paraíba, são 132 cidades abastecidas por sistemas isolados o que equivale a aproximadamente 35% da população, porém, 91 cidades são abastecidas por sistemas integrados o que equivale a cerca de 65% da população no estado da Paraíba. As vantagens dos sistemas integrados em relação aos isolados é que há uma considerável minimização dos custos com energia elétrica e com o tratamento da água (despesas com produtos químicos e operacionalidade no geral).

Na Figura 5, estão ilustrados as Bacias Hidrográficas do estado da Paraíba e os sistemas de adutoras que compõem o sistema de abastecimento do estado. Essas informações são elencadas na Tabela 3.

**Figura 5:** Sistemas de adutoras no estado da Paraíba.



Fonte: AESA-PB (2021).

**Tabela 3** – Adutoras pertencentes ao Estado da Paraíba.

ADUTORAS	BACIAS HIDROGRÁFICAS
SIN-Capivara	PIRANHAS
SIN-São Gonçalo	PIRANHAS
SIN-Carneiros Mato Grosso	PIRANHAS
SIN-São Bento	PIRANHAS
SIN-Coremas Sabuji	PIRANHAS/PARAÍBA
SIN-Pajeú	PARAÍBA
SIN-Congo	PARAÍBA
Eixo Leste	PARAÍBA
SIN-Camalaú	PARAÍBA

SIN-Boqueirão	PARAÍBA
SIN-Cariri	PARAÍBA/PIRANHAS
SIN-Cuité-Nova Floresta	JACU
SIN-Campina Grande	PARAÍBA
SIN-Manguape	CURIMATAÚ/MAMANGUAPE
SIN-Guarim-Vaca Brava	MAMANGUAPE
SIN-Casserengue	MAMANGUAPE
SIN-Cacimba da Várzea-Canafístula	CURIMATAÚ/MAMANGUAPE
SIN-Lagoa do Matias	CURIMATAÚ/MAMANGUAPE
SIN-Duas Estradas-Lagoa de Dentro	CAMARATUBA
SIN-Tauá	MAMANGUAPE
SIN-Araçagi Ramal Leste	MAMANGUAPE
SIN-Acauã Norte	PARAÍBA
SIN-Chã dos Pereiros	PARAÍBA
SIN-Natuba	PARAÍBA
SIN-Acauã-Gado Bravo	PARAÍBA
SIN-Acauã Leste	PARAÍBA
SIN-Olho D'água Salvador	MAMANGUAPE/PARAÍBA
SIN- Capim-Cuité	MAMANGUAPE
SIN-Gramame	ABIAÍ/GRAMAME/PARAÍBA
SIN-Abiaí-Papocas	ABIAÍ

Fonte: Aesa/PB, 2021.

Ao longo da rede de distribuição, a água potável pode sofrer degradação em sua qualidade, fazendo com que ela chegue com propriedades muito diferentes daquelas na saída da estação de tratamento de água (ETA). Com o passar do tempo, um problema que pode vir a ocorrer refere-se à redução da capacidade de escoamento das canalizações. As principais causas dessa redução são descritas na Tabela 4.

**Tabela 4** – Principais causas de redução de escoamento das canalizações.

PROBLEMA	FATOR DE ORIGEM
Corrosão interna das canalizações metálicas com a formação de tubérculos	Teor de ferro na forma de íon ferroso. pH, temperatura, oxigênio dissolvido, dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ) e concentração de sais contribuem para a corrosão.
Incrustações	Elevada dureza: concentração elevada de cálcio (Ca), magnésio (Mg), ferro (Fe) e alumínio (Al). Em alguns casos pode ser benéfica, pois pode proteger as tubulações contra a corrosão.
Deposição de materiais orgânicos e de minerais insolúveis	Pode ocorrer a deposição nos trechos de baixa velocidade ou nas pontas de rede e assim reduzir a seção de escoamento, podendo acarretar pressões negativas, elevando a frequência de vazamentos e as perdas do sistema.

Fonte: Brasil, 2006.

## 2.5 Características das amostras bivariadas

Determinam a comparação entre duas variáveis permitindo-se avaliar o quão associadas estão essas variáveis. Para se calcular esse grau de associação são utilizados o cálculo de covariância e o cálculo de correlação amostral. Tendo-se um par de observações  $(x_i, y_i)$ , sendo  $i, j = 1, \dots, n$ , a representação gráfica pode ser observada através do diagrama de dispersão o qual permite avaliar o grau de associação entre essas variáveis.

A melhor forma de se qualificar esse grau de associação é através do cálculo da covariância amostral e/ou o cálculo do coeficiente de correlação linear. Logo, tem-se que o cálculo da covariância amostral é:

$$cov(x, y) = S_{xy} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (Xx_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})$$

Por ser uma ferramenta de estatística bivariada, a covariância é utilizada para quantificar a associação linear entre duas variáveis, entretanto, ela é afetada pelas unidades de medida, diante deste fato, calcula-se o coeficiente de correlação amostral, logo, o coeficiente de correlação ou coeficiente de correlação de Pearson é dado por:

$$r = \frac{S_{xy}}{S_x S_y}, \text{ ou seja, } r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

O coeficiente de correlação de Pearson varia entre -1 e 1 e é usado para variáveis quantitativas e que sigam uma distribuição normal, contudo, se as variáveis não forem quantitativas ou não seguirem uma distribuição normal, utiliza-se o coeficiente de correlação de Spearman. Na Tabela 5 tem-se os valores de correlação entre variáveis.

**Tabela 5** – Valores de correlação entre variáveis.

INTERPRETAÇÃO	VALOR DE $p(+\text{ou}-)$
Correlação muito fraca	0,00 a 0,19
Correlação fraca	0,20 a 0,39
Correlação moderada	0,40 a 0,69
Correlação forte	0,70 a 0,89
Correlação muito forte	0,90 a 1,00

**Fonte:** Adaptado de Baba et al., 2014.

## 2.6 Análise de Componentes Principais – ACP/PCA

É uma técnica matemática que permite trabalhar com um grande número de dados disponíveis que transforma um conjunto de variáveis originais em outro conjunto, os componentes principais (CP) que possuem dimensões equivalentes. De acordo com Abdi; Williams, (2010), é uma técnica com a finalidade da redução da dimensionalidade, criando uma representação compacta das informações com novas variáveis ortogonais que são chamadas de componentes principais. Essas componentes principais são combinações lineares das variáveis originais as quais possuem ordem decrescente de relevância, ou seja, a primeira componente principal é mais importante, pois descreve a maior parte da variância dos dados. A transformação das variáveis originais ocorre com o mínimo de perda possível de informações, buscando eliminar as variáveis originais que possuam poucas informações.

A redução das variáveis originais só é possível caso as (p) variáveis iniciais não sejam independentes e possuam coeficientes de correlação que não sejam nulos. Inicialmente, o objetivo da ACP foi o de encontrar linhas e planos que melhor se ajustassem a um conjunto de pontos em um espaço p-dimensional (PEARSON,1901). O objetivo é que o número de componentes principais seja o menor possível, ou seja, partindo-se de p variáveis para k componentes principais. Segundo Gomes (2013), se as variáveis principais forem muito correlacionadas, o número de componentes principais será reduzido, caso contrário a redução será pouco significativa se as variáveis principais forem pouco correlacionadas.

Para se efetuar a ACP, primeiramente deve-se normalizar as variáveis, pois elas devem possuir as mesmas grandezas. Conforme Manning-Dahan (2017), caso as variáveis não estejam normalizadas, o resultado da ACP será afetado, pois o maior resultado da variância será atribuído ao componente de maior escala. Para a determinação das componentes principais, é necessário calcular a matriz de variância-covariância ( $\Sigma$ ), ou a matriz de correlação (R), encontrar os autovalores e os auto vetores e, por fim, escrever as combinações lineares, que serão as novas variáveis, denominadas de componentes principais, sendo que cada componente principal é uma combinação linear de todas as variáveis originais, independentes entre si e estimadas com o propósito de reter, em ordem de estimação e em termos da variação total, contida nos dados iniciais (REGAZZI, 2001).

Considerando-se o modelo matemático para componentes principais:

$$Y_j = a_{1j}X_1 + a_{2j}X_2 + \dots + a_{pj}X_p$$

Onde:

$Y = AX$ , em que  $X_1, \dots, X_p$  são variáveis originais e,  $Y_1, \dots, Y_p$  são as componentes principais não correlacionadas com variância decrescente, sendo  $a_{ij}$  o peso da  $j$ -ésima variável com  $i$ -ésima componente principal, que são representados na matriz  $A$  de ordem  $p$  (Chatfield, 1980).

Após o cálculo da matriz de covariância/correlação, deve-se determinar os valores dos vetores próprios associados a cada valor, logo, o valor da primeira componente principal corresponde ao valor do vetor próprio associado ao maior valor próprio, a segunda componente principal corresponde ao valor do vetor próprio que é associado ao segundo maior valor, e assim sucessivamente. O valor próprio da matriz de correlação amostral é representado por  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_p$ , onde  $\lambda_1 > \lambda_2 > \dots > \lambda_p \geq 0$ . Estes valores representam a variância dos componentes principais podendo ser denotado por  $\text{var}(Y_j) = \lambda_j$ .

Modelo matemático para componentes principais

$$Y_j = \sum_{i=1}^p a_{ij} X_i$$

Onde  $j=1, \dots, p$ , os  $a_{ij}$  podem ser estimados de modo que a primeira componente tenha o maior valor de variância e assim por diante. Os valores dos pesos são dados pelos vetores próprios que são associados a cada valor próprio, logo, tem-se que  $a_{i1}^2 + \dots + a_{ip}^2 = 1$  com  $i=1, \dots, p$  e,  $a_{i1}a_{j1} + \dots + a_{ip}a_{jp} = 0$  para todo  $i \neq j$ . Os valores dos pesos das componentes principais ( $a_{ij}$ ) representam a importância de cada componente, os valores de  $Y_j$  são chamados de scores das componentes principais.

### 2.6.1 Retenção de componentes principais

De acordo com Gomes (2013), quando se utiliza uma técnica de análise multivariada, é necessário decidir quantas componentes serão necessárias para explicar a variabilidade dos dados com a perda mínima de informações, e tendo como objetivo a explicação de pelo menos 80% da variabilidade dos dados através dos componentes principais. Sendo assim, deve-se seguir alguns critérios tais como:

1. Se  $\lambda_j$  é a variância da  $j$ -ésima componente principal e  $\sum_{j=1}^p \lambda_j$  é a variância total, tem-se que  $\frac{\lambda_j}{\sum_{j=1}^p \lambda_j} \times 100$  é a proporção que explicada a  $j$ -ésima componente principal, onde  $\frac{\sum_{j=1}^k \lambda_j}{\sum_{j=1}^k \lambda_j} \times 100$  é a proporção explicada pelas  $k$

primeiras componentes principais, tal valor deve ser superior a 80%;

2. Critério de Kaiser: tem a finalidade de excluir componentes principais que possuem valor menor à sua média aritmética;
3. Elaboração de um gráfico do número de componentes versus os valores próprios. Este gráfico é denominado de scree-plot e tem a forma de um “cotovelo”. De acordo com Rencher (1995), deve-se reter o número de componentes principais até o gráfico tornar-se aproximadamente paralelo ao eixo Ox, pois os valores próprios são muito reduzidos os quais não contribuem de forma expressiva na explicação da variabilidade dos dados.

## 2.7 Rotação dos fatores

Conforme Gomes (2013), na rotação, há uma transformação da solução inicial realizada através da multiplicação de uma matriz de rotação ortogonal pela matriz dos loadings, a fim de se obter uma interpretação mais eficiente. Com a rotação permite-se o aumento dos valores absolutos dos maiores loadings e reduz-se os valores dos loadings menores, separando os loadings significantes dos insignificantes.

Para Vicini (2005), a rotação dos eixos tem a finalidade de melhor visualização das variáveis que representam cada fator, pois busca-se colocar os fatores em uma posição mais simples em relação às variáveis originais, promovendo uma melhor interpretação desses fatores. Conforme Pereira (2001), “a rotação da matriz não afeta a inércia (comunalidades) das variáveis nem a percentagem de variações explicadas pelos fatores”. As rotações podem ser classificadas em ortogonais ou oblíquas, sendo as ortogonais as mais utilizadas, destacando-se a rotação varimax, quartimax e equimax.

### 2.7.1 Método Varimax

O método de rotação ortogonal de rotação varimax procura minimizar o número de variáveis com altas cargas sobre um fator, desta forma, reforçando a interpretabilidade dos fatores (MALHORTA, 2006). Objetivando maximizar a variância dos *loadings* das colunas da matriz  $\Lambda = [\lambda_{ij}]$ , de tal forma que possam existir alguns loadings significativos e os demais próximos a zero. Para um fator  $j$  tem-se:

$$V_j = \frac{\sum_{i=1}^p (\lambda_{ij}^2 - \lambda_j^2)^2}{p} = \frac{p \sum_{i=1}^p \lambda_{ij}^4 - (\sum_{i=1}^p \lambda_{ij}^2)^2}{p^2}, \text{ onde}$$

$V_j$  é a variância da comunalidade das variáveis de  $j$ ;

$\lambda_{ij}^2$  é o quadrado do loading da  $i$ -ésima variável no  $j$ -ésimo fator;

$\lambda_{.j}^2 = \frac{\sum_{i=1}^p \lambda_{ij}^2}{p}$  = média do quadrado dos loadings para  $j$ ;

$p$  é o número de variáveis;

$k$  = número de fatores.

Tem-se que variância total de  $V$  dos fatores é:

$$V = \sum_{j=1}^m V_j = \sum_{j=1}^m \left( \frac{p \sum_{i=1}^p \lambda_{ij}^4 - (\sum_{i=1}^p \lambda_{ij}^2)^2}{p^2} \right), \text{ este método foi desenvolvido por}$$

Kaiser.

### 2.7.2 Método Quartimax

De acordo Gomes (2013) esse método tem o objetivo de simplificar as linhas da matriz de loadings, transformando os loadings de cada variável elevados em um pequeno número de fatores, em outras palavras, o quartimax minimiza o número de fatores necessários para explicar uma variável. Dada uma variável  $i$ , tem-se:

$$Q_i = \frac{\sum_{j=1}^m (\lambda_{ij}^2 - \lambda_i^2)^2}{m} = \frac{m \sum_{j=1}^m \lambda_{ij}^4 - (\sum_{j=1}^m \lambda_{ij}^2)^2}{m^2}, \text{ onde:}$$

$Q_i$  é a variância da comunalidade na variável  $i$ ;

$\lambda_i^2 = \frac{\sum_{j=1}^m \lambda_{ij}^2}{m}$  = a média do quadrado dos loadings na variável  $i$ .

Considerando-se todas as variáveis, a variância total ( $Q$ ) é:

$$Q = \sum_{i=1}^p Q_i = \sum_{i=1}^p \left( \frac{m \sum_{j=1}^k \lambda_{ij}^4 - (\sum_{j=1}^k \lambda_{ij}^2)^2}{m^2} \right).$$

### 2.7.3 Método Equimax/Equamax

Conforme Timm (2002), o método equimax é um híbrido do método varimax e o método quartimax. Ao invés de se concentrar na simplificação das linhas ou das colunas, ele tenta atingir um pouco de cada. Equimax não tem obtido ampla aceitação e é pouco utilizado.

## 2.8 Validando o modelo de análise fatorial

É preciso realizar alguns testes para que se possa avaliar a qualidade das análises que foram efetuadas. Gomes (2013) mencionou que é necessário que a matriz de correlações seja diferente da matriz identidade, sendo essencial que seja feito o teste de esfericidade de Bartlett. Este teste é baseado na distribuição estatística de quiquadrado e, para que o método de análise fatorial seja adequado, deve-se rejeitar a hipótese nula de que a matriz de correlações é identidade, ou seja, o valor da significância do teste de Bartlett deve ser menor que 0,05 (HAIR, et al, 2009). Esse teste usa para testar  $H_0: R=I$  versus  $H_1: R \neq I$ , em que  $R$  é a matriz de correlações amostral e  $I$  a matriz identidade (GOMES, 2013).

Para Rencher (1995) a estatística do teste de esfericidade de Bartlett é:

–  $\left( n - 1 - \left( \frac{2p+5}{6} \right) \right) \sum_{i=1}^p \ln(\lambda_i)$ , com distribuição quiquadrado com  $\frac{1}{2} p (p - 1)$  graus de liberdade.

O critério de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) ou measure of sampling adequacy (MSA) é utilizado para avaliar se a análise fatorial foi adequada aos dados em tela. Pode ser definido por:

$$KMO/MSA = \frac{\sum_{i < j} r_{ij}^2}{\sum_{i < j} r_{ij}^2 + \sum_{i < j} q_{ij}^2}, \text{ onde:}$$

$$R=[r_{ij}] \text{ e } Q=[q_{ij}] = DR-1D, \text{ com } D = [(diag R-1)1/2]-1.$$

Para Maroco (2007), os valores de KMO variam entre 0 e 1, porém é recomendável que tais valores sejam superiores a 0,8.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Área de estudo

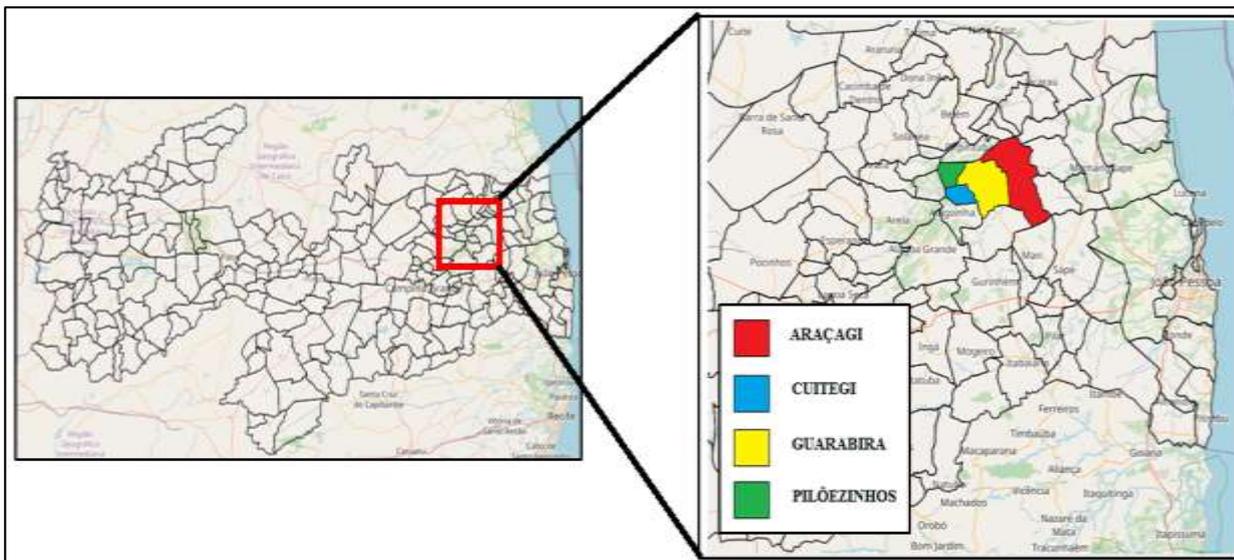
O estado da Paraíba está localizado na Região Hidrográfica do Atlântico Nordeste Oriental, possuindo 223 municípios, com uma população de aproximadamente, 4 milhões de habitantes e, segundo o Atlas das Águas da ANA (2015), 79% desses municípios são abastecidos pela Companhia de Água e Esgotos da Paraíba-CAGEPA.

O sistema integrado de abastecimento de água ARAÇAGI/TAUÁ está localizado no Brejo Paraibano, e beneficia os municípios de Araçagi, Cuitegi, Guarabira e Pilõezinhos. Conforme Santos (2017), este sistema é abastecido por dois mananciais que são pertencentes à Bacia Hidrográfica do Rio Mamanguape:

- A barragem de Araçagi: que está localizada entre os municípios de Araçagi e Itapororoca, distando aproximadamente 120km da capital João Pessoa. Sua construção foi iniciada em 1999 e concluída em 2001. Tem capacidade de armazenamento de 63.289.037m<sup>3</sup>;
- A barragem de Tauá: fica localizada no Agreste da Paraíba, na microrregião de Guarabira, entre os municípios de Cuitegi e Alagoinha a uma distância de aproximadamente 100km de João Pessoa, a capital do estado. Segundo a CAGEPA (2020), a barragem tem a capacidade de armazenamento de 8.573.500m<sup>3</sup> e foi construída em 1951, inaugurada em 1956 e ampliada no ano de 1989.

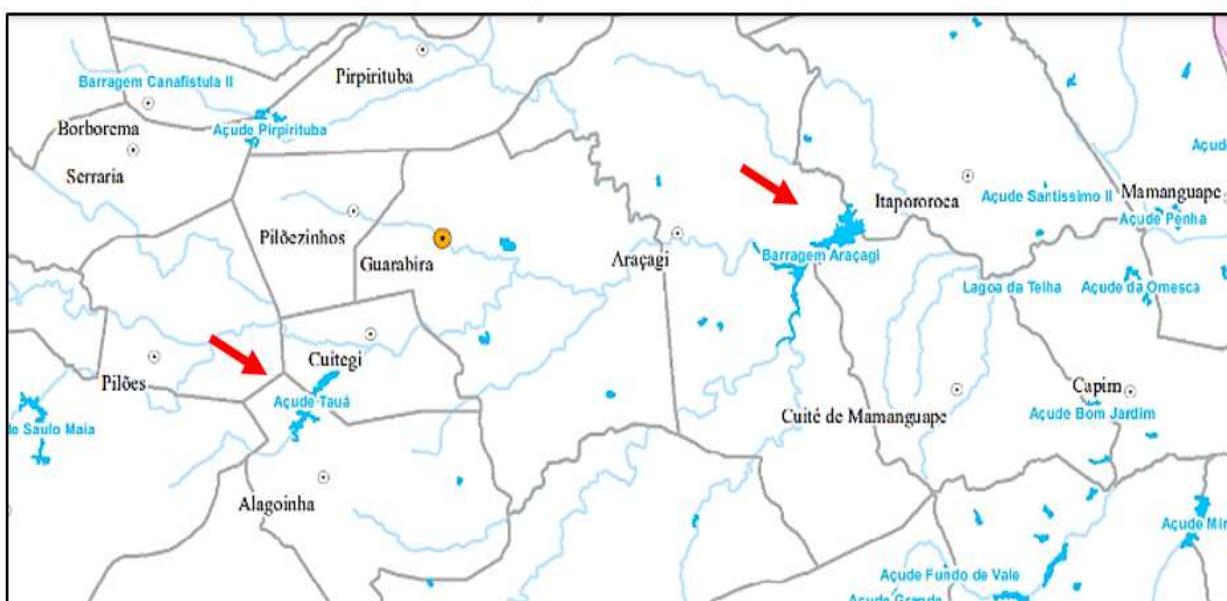
Com o objetivo de suprir a demanda hídrica ocasionada pelo aumento populacional, foi inaugurado um novo sistema de abastecimento em Araçagi no ano de 2014. Esta ampliação promoveu o aumento da oferta hídrica do sistema, contemplando um aumento da população abastecida por mais vinte anos. Conforme a CAGEPA (2020), a barragem de Araçagi supre cerca de 80% da água tratada que é enviada para as cidades de Araçagi, Guarabira e Pilõezinhos, contudo, as cidades de Guarabira e Pilõezinhos são abastecidas pela mistura das águas das barragens de Araçagi e de Tauá, já as cidades de Araçagi e Cuitegi são abastecidas pelos seus respectivos mananciais. As Figuras 6 e 7 mostram, respectivamente, os municípios que compõem o sistema integrado Araçagi/Tauá e as localizações das barragens desse sistema.

**Figura 6:** Mapa dos municípios que fazem parte do sistema integrado Araçagi/Tauá.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2021

**Figura 7:** Localização das barragens de Araçagi e Tauá.



Fonte: SNIRH (2021).

Nas Figuras 8 e 9 são observadas as barragens de Tauá e Araçagi, localizadas nos municípios de Cuitegi e de Araçagi respectivamente.

**Figura 8:** Barragem Tauá.

Fonte: Elaborada pelo autor, 2021

**Figura 9:** Barragem de Araçagi.

Fonte: SITE PBVALE (2021).

### 3.2 Sistema de tratamento de água Araçagi/Tauá

O tratamento de água do sistema integrado de Araçagi/Tauá é realizado em três estações de tratamento de água, sendo duas ETA's na cidade de Cuitegi e uma na cidade de Araçagi. Todas as três estações de tratamento são do tipo convencional e ciclo completo, que utilizam o cloro gasoso como agente desinfetante no tratamento da água. Na Tabela 6, tem-se as características das ETA's do sistema integrado em estudo.

**Tabela 6** – Estações de Tratamento do Sistema Integrado Araçagi/Tauá.

PARÂMETRO	ETA ARAÇAGI	ETA CUITEGI	
		ETA 1	ETA 2
<b>Funcionamento</b>	24h/dia	24h/dia	24h/dia
<b>Vazão de projeto</b>	612m <sup>3</sup> /h	360m <sup>3</sup> /h	108m <sup>3</sup> /h
<b>Vazão de trabalho atual</b>	480m <sup>3</sup> /h	271m <sup>3</sup> /h	127m <sup>3</sup> /h
<b>Coagulante utilizado</b>	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>

Fonte: Adaptado CAGEPA, 2020.

As águas tratadas nas duas ETA's de Cuitegi são armazenadas em um mesmo reservatório (R0) que, posteriormente, segue para a distribuição. As Figuras 10 e 11 mostram as duas ETA's (antiga e nova, respectivamente) da cidade de Cuitegi. as Figuras 12a e 12b mostram a ETA da cidade de Araçagi.

**Figura 10:** ETA antiga de Cuitegi.

Fonte: LIMA (2017).

**Figura 11:** ETA nova de Cuitegi.

Fonte: Elaborada pelo autor, 2021

**Figura 12a:** Foto externa da ETA de Araçagi **Figura 12b:** Decantadores da ETA de Araçagi

Fonte: SITE ODE8ANOS (2021).



Fonte: SITE MANCHETEPB (2021).

### 3.3 Sistema de abastecimento de água Araçagi/Tauá

De acordo com a CAGEPA (2020), após a água tratada sair da ETA de Araçagi, ela é transportada através de uma adutora de ferro fundido com diâmetro de 450mm, por aproximadamente 27 km, onde é armazenada em um reservatório com capacidade de 3.500m<sup>3</sup> na cidade de Guarabira. Nesse mesmo ramal, há uma tubulação derivativa com diâmetro de 200mm que tem a finalidade de fornecer água tratada para a cidade de Araçagi onde essa água fica armazenada em um reservatório com capacidade de 200m<sup>3</sup>.

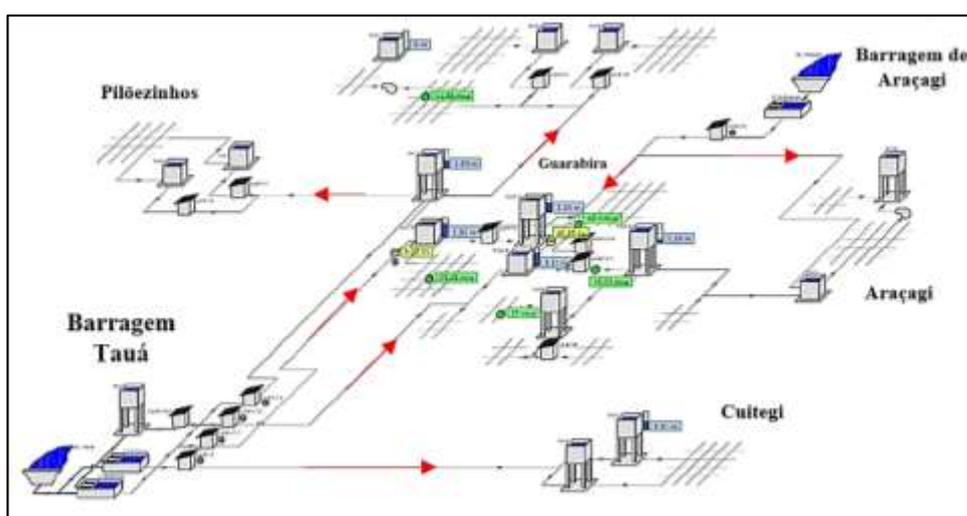
O transporte da água da ETA de Cuitegi se dá através de tubulações de PVC de 150mm de diâmetro, tendo como destino dois reservatórios na cidade de Cuitegi, um com capacidade para 50m<sup>3</sup> e o outro de 200m<sup>3</sup>, para, posteriormente ser distribuída para a cidade. A Tabela 7 mostra as adutoras que compõem o sistema Cuitegi/Guarabira.

**Tabela 7** – Linhas adutoras pertencentes ao sistema de Cuitegi.

LINHAS DE ADUÇÃO EXISTENTES	VAZÃO (L/s)	COMPR(m)	DN(mm)	MATERIAL DO TUBO
Da ETA para o reservatório elevado em Cuitegi	12,00	1.230	150	PVC-1MPa.
Da ETA para o R1 em Guarabira	15,30	7.612	200	C.Amianto
Da ETA para o R2 apoiado em Guarabira	62,00	9.095	250	F.Fund.K7JE
Do R2 para o R3 em Guarabira	26,25	2.632	300	F.Fund.K7JE
Do R2A para o R2 elevado em Guarabira	40,83	40	300	F.Fund.K7JE
Do R2 elevado para o R apoiado em Araçagi	12,20	14.931	200/150	PVC-1MPa.
Do R3 elevado para o R apoiado em Pilõezinhos	7,80	4.986	1150	PVC-1MPa.

Fonte: CAGEPA, 2017, apud Silva, 2020.

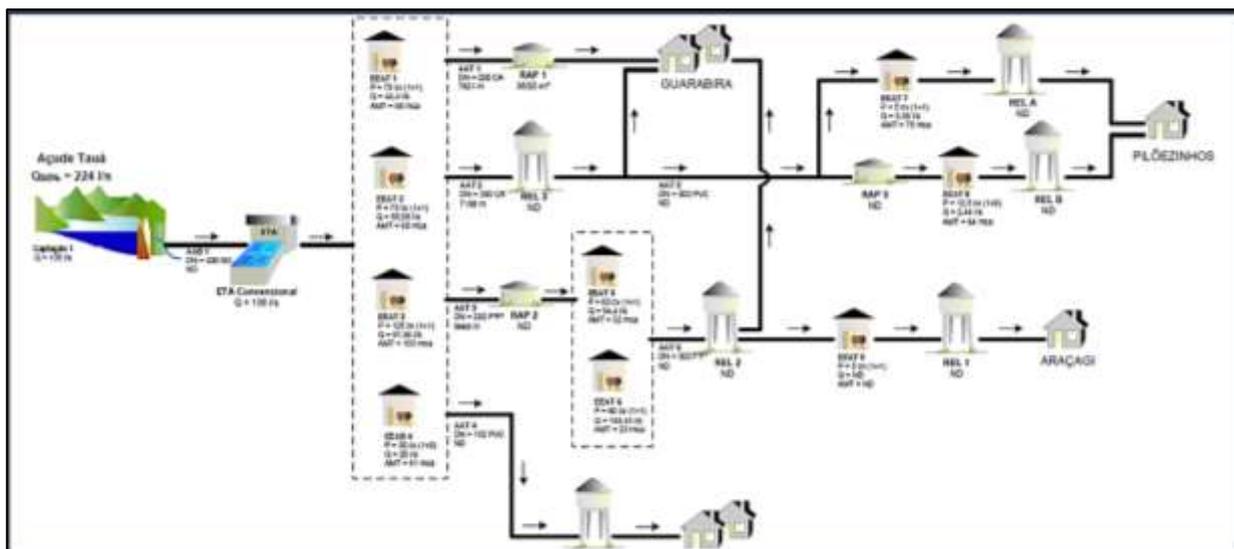
Esse sistema é responsável pelo abastecimento das cidades de Guarabira e Pilõezinhos, contudo, segundo a CAGEPA (2020), o sistema de Araçagi contribui com aproximadamente 80% do abastecimento de água das cidades de Araçagi, Guarabira e Pilõezinhos. A Figura 13 ilustra, esquematicamente, o sistema integrado em estudo.

**Figura 13:** Diagrama do sistema integrado Araçagi/Tauá.

Fonte: CAGEPA (2020, com adaptações).

A Figura 14 corresponde às informações contidas na Tabela 9, ilustrando o mapa da rede de abastecimento de água da barragem Tauá.

**Figura 14:** Mapa de abastecimento da barragem Tauá.



Fonte: CAGEPA (2017, apud Silva, 2020).

### 3.4 Pontos de monitoramento e coleta de dados

A coleta de dados foi realizada pela CAGEPA (Companhia de Água e Esgotos da Paraíba) no período de janeiro a novembro de 2020, sendo referentes às análises físico-químicas e indicadores microbiológicas realizadas nas águas provenientes dos seguintes pontos de monitoramento:

- Água bruta dos mananciais de Araçagi e Tauá;
- Água no reservatório R0 das ETA's de Araçagi e Tauá;
- Pontos de coletas/monitoramento das cidades de Araçagi, Cuitegi e Guarabira.

Apesar da cidade de Pilõezinhos pertencer ao sistema integrado, os dados não foram fornecidos pela CAGEPA, por este motivo, esta cidade não foi inserida no estudo desse trabalho. No período em que foram feitas as análises, os indicadores analisados seguiram os padrões da Portaria de Consolidação N° 05/2017 do Ministério da Saúde, que ainda estava em vigência na época. Os pontos de monitoramento foram criteriosamente escolhidos baseando-se na metodologia da Diretriz Nacional do Plano de Amostragem da vigilância em saúde ambiental que recomenda que as coletas devem ser feitas em locais de grande circulação ou em instituições que abriguem populações vulneráveis (hospitais, clínicas de hemodiálise, creches, escolas, entre outras) como também na saída do tratamento ou entrada de um sistema de abastecimento.

Para a formulação deste trabalho, foram analisados dados de análises físico-químicas

como cloro residual livre, pH, cor e turbidez, como também análise de presença/ausência de coliformes totais e *Escherichia coli*.

### 3.5 Métodos das análises físico-químicas

- **Cloro Residual Livre (CRL):** A concentração de CRL foi analisada através do teste de orto-Tolidina (3,3'-dimetilbenzidina) a qual é utilizada como reagente cromogênico, oxidando-se em uma imino-quinona. Salami (2008) citou em seu trabalho que a cor apresentada pelo produto dependerá do pH do meio ( $0,8 < \text{pH} < 3,0$  = amarelo;  $3,0 < \text{pH} < 6,0$  = verde azulado;  $\text{pH} > 6,0$  = marrom);
- **Turbidez:** foi analisada pelo método nefelométrico com a utilização de um turbidímetro portátil provido de fonte de luz de tungstênio;
- **pH:** foi determinado pelo método potenciométrico com o auxílio de um pHmetro;
- **Cor:** foi determinada através de análise colorimétrica com comparação de disco com tudo de Nessler, fornecendo o resultado em unidades de cor (uH = unidade Hazen).

### 3.6 Análise estatística dos dados

Foram utilizados os softwares Jamovi versão 1.6.15 (versão gratuita), Past versão 4.03 (versão gratuita) e o Microsoft Excel 2013. Para análise exploratória, foram analisadas as medidas de tendência centrais (média e mediana) e de dispersão (desvio padrão e variância) com o objetivo de descobrir quais tendências, relações e padrões poderiam estar relacionados nos conjuntos de dados analisados como também seu grau de variação. Devido à grande variabilidade dos dados das três cidades, foi utilizada a análise estatística multivariada denominada de Análise de Componentes Principais (ACP).

Os dados foram coletados pela CAGEPA no período de janeiro a novembro de 2020. Esses dados são referentes aos valores para CRL, pH, cor e turbidez nos R0's (Araçagi e Cuitegi) como também nos pontos de monitoramento nas três cidades. Estes pontos foram determinados pela CAGEPA, como também sua frequência de coletas os quais, para cada cidade, apresentou quantidades distintas para pontos de monitoramento e quantidade de coletas, sendo caracterizados por:

**ARAÇAGI**

- R0: 71 amostras;
- 12 pontos de coletas na cidade totalizando 120 amostras.

**CUITEGI**

- R0: 100 amostras;
- 22 pontos de coletas na cidade totalizando 101 amostras.

**GUARABIRA**

- 63 pontos de coletas na cidade totalizando 751 amostras.

Todos os dados foram obtidos através do relatório enviado pela CAGEPA, onde foram transcritos para o EXCEL com o intuito de verificar a ausência de dados dos indicadores de qualidade da água, em caso positivo para ausência de algum dado, toda a linha de dados era excluída. Após ter sido feita a tabulação dos dados, foram feitos os testes de análise exploratória e estatística dos dados utilizando-se os softwares Jamovi versão 1.6.15 e Past versão 4.03.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Análise exploratória dos dados

#### 4.1.1 Dados amostrais dos pontos de coleta da cidade de Araçagi

Na Tabela 8, encontram-se os valores das medidas centrais e de dispersão referentes aos dados amostrais coletados entre os meses de janeiro e novembro de 2020 na cidade de Araçagi nos 12 pontos de coletas da cidade.

**Tabela 8** – Parâmetros estatísticos descritivos dos dados amostrais dos pontos de coleta da cidade de Araçagi-Ano/2020.

VARIÁVEIS	CRL	pH	COR	TURB
N	120	120	120	120
MÉDIA	3,53	6,82	14,6	1,07
MEDIANA	3,00	6,88	12,8	0,940
DESV. PAD	0,990	0,340	7,63	0,844
VARIÂNCIA	0,980	0,116	58,2	0,712
MÍNIMO	2,00	4,15	5,20	0,10
MÁXIMO	5,00	7,29	63,4	3,91
1º QUARTIL	3,00	6,76	10,6	0,448
3º QUARTIL	4,00	7,01	16,2	1,35

Fonte: Elaborada pelo autor, 2021

Ao se analisar a Tabela 8, observam-se as características das 120 amostras das 4 (quatro) variáveis em estudo. Nota-se que 50 % dos valores de CRL estavam entre 3,00 mgCl<sub>2</sub>.L<sup>-1</sup> a 4,00 mgCl<sub>2</sub>.L<sup>-1</sup> (intervalo interquartilico) que, segundo à legislação vigente no período das análises, esses estão acima do VMR (valor máximo recomendado) que era de 2,0 mgCl<sub>2</sub>.L<sup>-1</sup>. Como o R0 de Araçagi fica em média 8km dos pontos de monitoramento da cidade, provavelmente, não houve consumo significativo do CRL dentro da tubulação, explicando essa elevada concentração. O pH das amostras apresentou variação de 4,15 a 7,29, tendo valor médio de 6,82, entretanto, 50% dos valores estão compreendidos no intervalo de 6,76 a 7,01, ou seja, excluindo o valor de 4,15, os demais valores estão dentro dos padrões de potabilidade. Em relação à cor, 50% dos seus valores apresentaram-se entre 10,6uH e 16,2uH, porém foi observado um *outlier* no valor de 63,4uH que, provavelmente, pode ter havido um erro na leitura ou transcrição deste dado. Os valores referentes à turbidez variaram entre 0,1uT e 3,9uT, constatando-se todos os valores mantiveram-se dentro dos padrões de potabilidade.

#### 4.1.2 Intervalo e frequência dos dados das variáveis da cidade de Araçagi

Na Tabela 9 encontram-se os valores relativos ao intervalo e frequência dos dados das variáveis da cidade de Araçagi. Os valores em destaque indicam a conformidade dos dados em relação à legislação vigente na época das análises.

**Tabela 9** – Valores relativos ao intervalo e frequência dos dados das variáveis da cidade de Araçagi.

CRL		pH		COR		TURB	
Intervalo	Frequência	Intervalo	Frequência	Intervalo	Frequência	Intervalo	Frequência
0,00	0	0,00	0	0	0	0,00	0
0,10	0	1,00	0	1	0	0,50	37
0,20	0	2,00	0	2	0	1,00	26
0,30	0	3,00	0	3	0	1,50	34
0,40	0	4,00	0	4	0	2,00	7
0,50	0	5,00	1	5	0	2,50	6
0,60	0	6,00	0	6	1	3,00	5
0,70	0	7,00	85	7	3	3,50	3
0,80	0	8,00	34	8	2	4,00	2
0,90	0	9,00	0	9	4	4,50	0
1,00	0	10,00	0	10	12	5,00	0
1,10	0	-	-	11	15	-	0
1,20	0	-	-	12	15	-	-
1,30	0	-	-	13	9	-	-
1,40	0	-	-	14	10	-	-
1,50	0	-	-	15	14	-	-
1,60	0	-	-	>15	35	-	-
1,70	0	-	-	-	-	-	-
1,80	0	-	-	-	-	-	-
1,90	0	-	-	-	-	-	-
2,00	17	-	-	-	-	-	-
5,00	103	-	-	-	-	-	-

Fonte: Elaborada pelo autor, 2021

Em relação aos valores inseridos na Tabela 9, constatou-se que para o CRL aproximadamente 14% de todas as amostras apresentaram concentrações que variaram entre 0,2 mgCl<sub>2</sub>.L<sup>-1</sup> e 2,0 mgCl<sub>2</sub>.L<sup>-1</sup> (valor mínimo permitido e valor máximo recomendado) o que equivale a 17 amostras, contudo, 103 amostras (86%) apresentaram concentrações acima de 2,0 mgCl<sub>2</sub>.L<sup>-1</sup> e abaixo de 5,00 mgCl<sub>2</sub>.L<sup>-1</sup>(VMP). Para o pH, aproximadamente 99% das amostras apresentaram valores dentro da escala exigida pela legislação vigente na época das coletas (6,0

– 9,5). Em relação aos dados relativos à cor, 70% das amostras (85 amostras) apresentaram valores dentro do limite permitido, ou seja,  $VMP < 15uH$ . Em relação à turbidez, todas as amostras mantiveram-se dentro dos padrões de potabilidade, ou seja, abaixo de 5uT.

#### 4.1.3 Dados amostrais dos pontos de coleta da cidade de Cuitegi

Na Tabela 10, encontram-se os valores das medidas centrais e de dispersão referentes aos dados amostrais coletados entre os meses de janeiro e novembro de 2020 na cidade de Cuitegi nos 22 pontos de coletas da cidade.

**Tabela 10** – Parâmetros estatísticos descritivos dos dados amostrais dos pontos de coleta da cidade de Cuitegi-Ano/2020.

VARIÁVEIS	CRL	pH	COR	TURB
N	101	101	101	101
MÉDIA	2,68	6,71	13,1	1,37
MEDIANA	3,00	6,72	11,0	0,97
DES. PAD.	1,65	0,309	9,91	1,11
VARIÂNCIA	2,74	0,0957	98,2	1,23
MÍNIMO	0,00	6,07	1,20	0,13
MÁXIMO	5,00	7,30	57,5	5,00
1º QUARTIL	1,00	6,55	7,90	0,69
3º QUARTIL	4,00	6,94	15,0	1,66

Fonte: Elaborada pelo autor, 2021

Ao se analisar a Tabela 10, foi possível observar as características dos dados das 101 amostras relacionadas às 4 (quatro) variáveis em estudo, constatando-se que os valores referentes ao CRL variaram entre  $0,0 \text{ mgCl}_2.L^{-1}$  e  $5,0 \text{ mgCl}_2.L^{-1}$ , apresentando 50% dos seus valores entre  $1,00 \text{ mgCl}_2.L^{-1}$  e  $4,00 \text{ mgCl}_2.L^{-1}$ . O pH variou de 6,07 a 7,3, mantendo-se dentro do intervalo de potabilidade exigido pela legislação. Os valores relacionados à cor apresentaram variações entre o intervalo de 1,2uH a 57,5uH, sendo que 50% dos valores (intervalo interquartil) ficaram dentro dos padrões de potabilidade. A turbidez apresentou variação de valores compreendidos entre 0,13uT e 5,0uT, concluindo-se que todas as amostras ficaram dentro dos padrões de potabilidade.

#### 4.1.4 Intervalo e frequência dos dados das variáveis da cidade de Cuitegi

A Tabela 11 lista os valores relativos ao intervalo e frequência dos dados das variáveis

da cidade de Cuitegi.

**Tabela 11** – Valores relativos ao intervalo e frequência dos dados das variáveis da cidade de Cuitegi.

CRL		pH		COR		TURB	
Intervalo	Frequência	Intervalo	Frequência	Intervalo	Frequência	Intervalo	Frequência
<b>0</b>	9	<b>0</b>	0	<b>0</b>	0	<b>0</b>	0
<b>0,10</b>	0	<b>1</b>	0	<b>1</b>	0	<b>0,5</b>	14
<b>0,20</b>	0	<b>2</b>	0	<b>2</b>	2	<b>1</b>	38
<b>0,30</b>	0	<b>3</b>	0	<b>3</b>	5	<b>1,5</b>	17
<b>0,40</b>	0	<b>4</b>	0	<b>4</b>	3	<b>2</b>	17
<b>0,50</b>	4	<b>5</b>	0	<b>5</b>	6	<b>2,5</b>	2
<b>0,60</b>	0	<b>6</b>	0	<b>6</b>	0	<b>3</b>	2
<b>0,70</b>	0	<b>7</b>	80	<b>7</b>	6	<b>3,5</b>	3
<b>0,80</b>	0	<b>8</b>	21	<b>8</b>	6	<b>4</b>	2
<b>0,90</b>	0	<b>9</b>	0	<b>9</b>	5	<b>4,5</b>	3
<b>1,00</b>	15	<b>10</b>	0	<b>10</b>	8	<b>5</b>	3
<b>1,10</b>	0	-	-	<b>11</b>	10	-	-
<b>1,20</b>	0	-	-	<b>12</b>	6	-	-
<b>1,30</b>	0	-	-	<b>13</b>	7	-	-
<b>1,40</b>	0	-	-	<b>14</b>	3	-	-
<b>1,50</b>	0	-	-	<b>15</b>	9	-	-
<b>1,60</b>	0	-	-	<b>&gt;15</b>	<b>25</b>	-	-
<b>1,70</b>	0	-	-	-	-	-	-
<b>1,80</b>	0	-	-	-	-	-	-
<b>1,90</b>	0	-	-	-	-	-	-
<b>2,00</b>	19	-	-	-	-	-	-
<b>5,00</b>	<b>54</b>	-	-	-	-	-	-

Fonte: Elaborada pelo autor, 2021

Para as amostras da Tabela 11, aproximadamente 38% dos valores relativos ao CRL ficaram dentro do intervalo recomendado pela Portaria de Consolidação nº 5 (valores nas células em destaque), em torno de 9% apresentaram concentrações abaixo de  $0,2 \text{ mgCl}_2 \cdot \text{L}^{-1}$  (valor mínimo permitido), 54 amostras apresentaram valores acima de  $2,0 \text{ mgCl}_2 \cdot \text{L}^{-1}$  (valor máximo recomendado) e abaixo de  $5,00 \text{ mgCl}_2 \cdot \text{L}^{-1}$  (valor máximo permitido) o que representa aproximadamente 54% do número de amostras coletadas na cidade de Cuitegi. Esse grande número de amostras com concentrações acima do VMR pode ser explicado através de dois fatores: a distância média entre R0/Tauá e Cuitegi, que é de 1,230km, e o material das tubulações (PVC); esses fatores contribuem minimamente no decaimento das concentrações de

CRL. Valores referentes ao pH apresentaram-se 100% dentro do intervalo exigido pela legislação. Ao se analisar o indicador cor, constatou-se que 76 amostras se apresentaram dentro dos padrões de potabilidade exigido pela legislação VMP<15uH, porém 25 amostras apresentaram valor acima do VMP, equivalendo a aproximadamente 25%. Os valores relativos ao indicador turbidez, apresentaram-se todos abaixo do VMP (5uT).

#### 4.1.5 Dados amostrais dos pontos de coleta da cidade de Guarabira

Na Tabela 12, encontram-se os valores das medidas centrais e de dispersão referentes aos dados amostrais coletados entre os meses de janeiro e novembro de 2020 na cidade de Araçagi nos 63 pontos de coletas da cidade.

**Tabela 12** – Parâmetros estatísticos descritivos dos dados amostrais dos pontos de coleta da cidade de Guarabira-Ano/2020.

VARIÁVEIS	CRL	pH	COR	TURB
N	751	751	751	751
MÉDIA	2,37	6,89	14,50	1,70
MEDIANA	2,50	6,94	13,30	1,04
DESV. PAD	1,07	0,347	8,90	1,60
VARIÂNCIA	1,14	0,12	79,20	2,56
MÍNIMO	0,00	3,12	1,00	0,10
MÁXIMO	5,00	9,96	156,00	10,2
1º QUARTIL	2,00	6,76	10,20	0,56
3º QUARTIL	3,00	7,08	16,70	2,59

Fonte: Elaborada pelo autor,2021

Analisando-se a Tabela 12, observam-se as características dos dados das 751 amostras das 4 (quatro) variáveis em estudo. Os valores para CRL das amostras ficaram compreendidos entre 0,0 mgCl<sub>2</sub>.L<sup>-1</sup> e 5,0 mgCl<sub>2</sub>.L<sup>-1</sup>, apresentando 50% dos seus valores no intervalo de 2,00 mgCl<sub>2</sub>.L<sup>-1</sup> a 3,00 mgCl<sub>2</sub>.L<sup>-1</sup>. O sistema de abastecimento da cidade de Guarabira é composto por tubulações de cimento amianto, ferro fundido e PVC, sendo os dois primeiros responsáveis por grande decréscimo das concentrações de CLR, este fato explica a grande variabilidade nas concentrações do cloro nesse sistema. Os valores do pH apresentaram-se entre 3,12 e 9,96, sendo que 50% dos valores estavam no intervalo de 6,76 a 7,08, ficando dentro dos padrões de potabilidade. Para os valores referentes à cor, observou-se uma variação entre 1,0uH e 156uH, entretanto, 50% dos valores apresentaram-se entre 10,20uH e 16,70uH, concluindo-se que o

valor 156uH trata-se de um outlier superior que, provavelmente, se trata de um dado fora erroneamente transcrito. Foi observado na turbidez uma variação de 0,1uT a 10,2uT, concluindo-se que todas as amostras ficaram dentro dos padrões de potabilidade.

#### 4.1.6 Intervalo e frequência dos dados das variáveis da cidade de Cuitegi

Os valores representados na Tabela 13 são relativos ao intervalo e frequência dos dados das variáveis da cidade de Guarabira.

**Tabela 13** - Valores relativos ao intervalo e frequência dos dados das variáveis da cidade de Guarabira.

CRL		pH		COR		TURB	
Intervalo	Frequência	Intervalo	Frequência	Intervalo	Frequência	Intervalo	Frequência
0,00	17	0,00	0	0	0	0,00	0
0,10	1	1,00	0	1	1	0,50	165
0,20	0	2,00	0	2	2	1,00	203
0,30	0	3,00	0	3	6	1,50	91
0,40	0	4,00	1	4	8	2,00	59
0,50	54	5,00	0	5	12	2,50	42
0,60	0	6,00	7	6	17	3,00	47
0,70	0	7,00	443	7	22	3,50	40
0,80	0	8,00	297	8	33	4,00	31
0,90	0	9,00	2	9	42	4,50	24
1,00	62	9,50	0	10	41	5,00	19
1,10	0	10,00	0	11	45	>5,00	30
1,20	0	-	-	12	60	-	-
1,30	0	-	-	13	75	-	-
1,40	0	-	-	14	51	-	-
1,50	33	-	-	15	84	-	-
1,60	0	-	-	>15	252	-	-
1,70	0	-	-	-	-	-	-
1,80	0	-	-	-	-	-	-
1,90	0	-	-	-	-	-	-
2,00	160	-	-	-	-	-	-
5,00	424	-	-	-	-	-	-

Fonte: Elaborada pelo autor, 2021

De acordo com a Tabela 13, aos valores referentes ao CRL, foi observado que aproximadamente 41% (309 amostras) se enquadraram no intervalo recomendado pela legislação, aproximadamente 2% das amostras (18 amostras) ficaram abaixo de 0,2 mgCl<sub>2</sub>.L<sup>-1</sup>

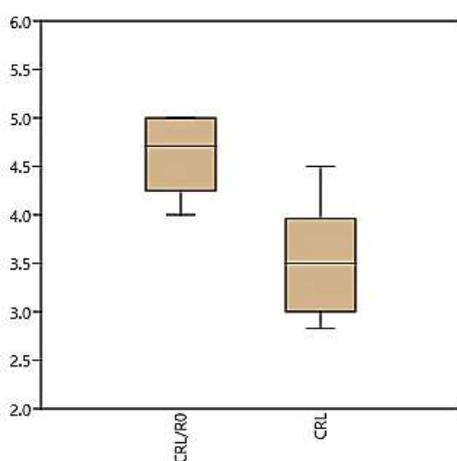
(valor mínimo permitido), 424 amostras apresentaram concentrações acima do valor máximo recomendado ( $2,0 \text{ mgCl}_2 \cdot \text{L}^{-1}$ ) e abaixo do máximo permitido ( $5,0 \text{ mgCl}_2 \cdot \text{L}^{-1}$ ), correspondendo a aproximadamente 56% das amostras. Ao se observar os valores referentes ao pH, constatou-se que 99% das amostras apresentaram-se dentro do intervalo recomendado pela legislação. Observando-se o indicador cor, aproximadamente 66% das amostras (499 amostras) ficaram dentro do limite estabelecido pela legislação  $\text{VMP} < 15 \text{ uH}$ , entretanto, 252 amostras apresentaram valores superiores ao VMP. Aproximadamente 96% das amostras correspondentes à turbidez ficaram dentro do intervalo recomendado ( $\text{VMP} < 5,0 \text{ uT}$ ), contudo, 30 amostras apresentaram valores superiores ao VMP.

Salientando que a cidade de Guarabira tem um porte bem maior em relação às cidades de Araçagi e Cuitégi, é composta por tubulações de cimento amianto e de ferro fundido, isso explica essa grande variabilidade nos dados dos indicadores cor e turbidez em relação às outras cidades.

#### 4.2 Análise comparativa descritiva entre R0-Araçagi/pontos de coleta de Araçagi

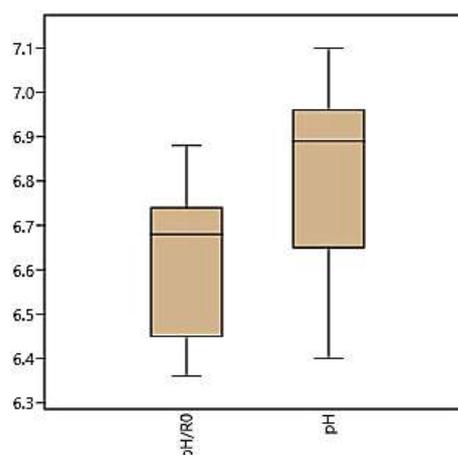
Nas Figuras 15a, 15b, 15c e 15d são ilustrados os diagramas *box-plot* comparando as variáveis entre o R0 e os pontos de coleta da cidade de Araçagi. Os dados analisados são valores médios mensais das variáveis em estudo ao longo do ano de 2020.

**Figura 15a:** Comparação do CRL R0/pontos de coleta em Araçagi.



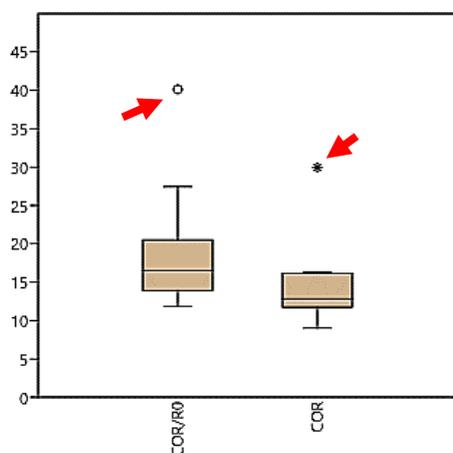
Fonte: Elaborada pelo autor, 2021

**Figura 15b:** Comparação do pH R0/pontos de coleta em Araçagi.



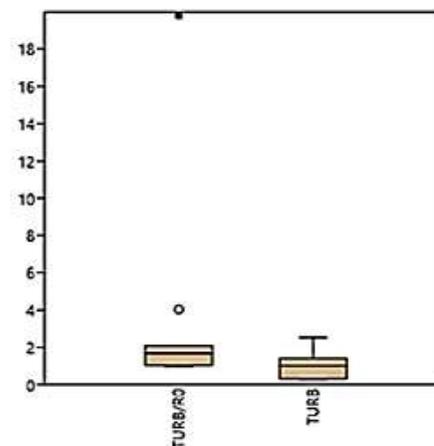
Fonte: Elaborada pelo autor, 2021

**Figura 15c:** Comparação da COR R0/pontos de coleta em Araçagi.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2021

**Figura 15d:** Comparação da TURB R0/pontos de coleta em Araçagi.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2021

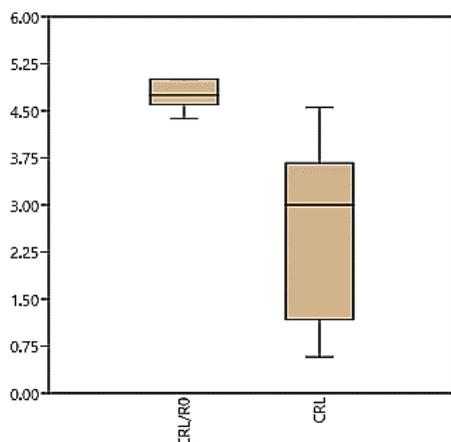
Para o CRL na Figura 15a, observou-se um decréscimo significativo de concentração, desde o R0 até a rede de distribuição pois, no R0, 50% dos dados estavam compreendidos entre 4,71 mgCl<sub>2</sub>.L<sup>-1</sup> e 5,00 mgCl<sub>2</sub>.L<sup>-1</sup>, nos pontos de coleta, 50% dos valores estavam compreendidos entre 3,08 mgCl<sub>2</sub>.L<sup>-1</sup> e 3,93 mgCl<sub>2</sub>.L<sup>-1</sup>, sabendo-se que a tubulação que sai do R0 para a cidade de Araçagi tem em média 8km de extensão e é composta de ferro fundido, conclui-se que esses fatores contribuíram para o decréscimo do CRL no sistema. Em relação aos valores de pH (contidos na Figura 15b) houve um pequeno aumento em seus valores médios (R0 = 6,63) e (pontos de coleta = 6,82), concluindo-se que, apesar desse acréscimo, todos os valores permaneceram dentro dos padrões exigidos pela legislação vigente no período das coletas.

Analisando-se os diagramas de cor e turbidez contidos nas Figuras 15c e 15d, observa-se decréscimos em seus valores ao se comparar o R0 e pontos de coleta, que pode ser explicado através do consumo de CRL no sistema (mencionado anteriormente), pois o indicador CRL é inversamente proporcional aos indicadores COR e TURB. O indicador cor apresentou algumas amostras com valores superiores ao VMP, contudo, a turbidez que apesar apresentar um “outlier” de 19,83uT, manteve-se dentro dos padrões de potabilidade TURB<(VMP=5uT).

### 4.3 Análise comparativa descritiva entre R0-Cuitegi/pontos de coleta de Cuitegi

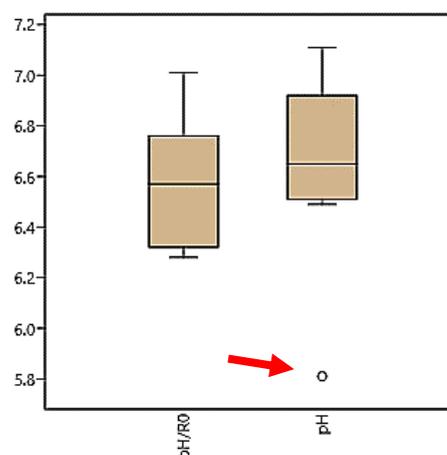
Nas figuras 16a, 16b, 16c e 16d observam-se os diagramas *box-plot* comparando as variáveis entre o R0 e os pontos de coleta da cidade de Cuitegi. Os dados analisados são valores médios mensais das variáveis em estudo ao longo do ano de 2020.

**Figura 16a:** Comparação do CRL R0/pontos de coleta em Cuitegi.



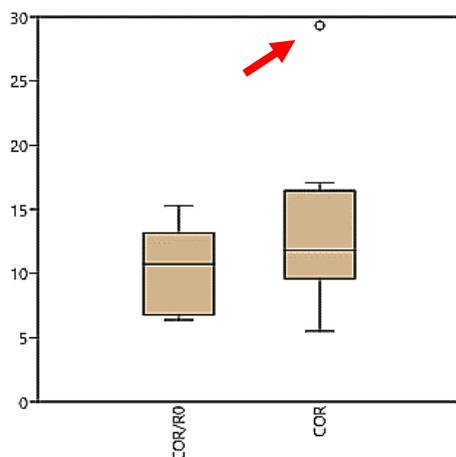
Fonte: Elaborada pelo autor,2021

**Figura 16b:** Comparação do pH R0/pontos de coleta em Cuitegi.



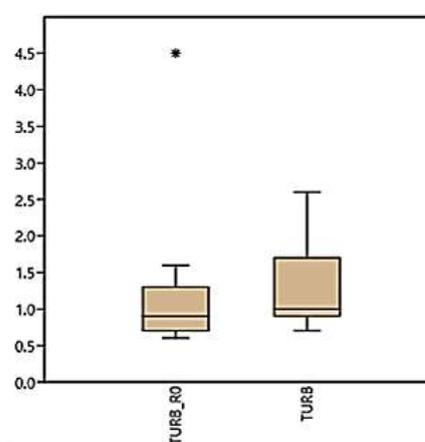
Fonte: Elaborada pelo autor,2021

**Figura 16c:** Comparação da COR R0/pontos de coleta em Cuitegi.



Fonte: Elaborada pelo autor,2021

**Figura 16d:** Comparação da TURB R0/pontos de coleta em Cuitegi.



Fonte: Elaborada pelo autor,2021

Os valores referentes ao CRL são representados na Figura 16a, foi observado um decréscimo significativo de sua concentração ao longo do sistema, desde o R0 até à rede de distribuição. No R0, 50% dos dados estavam compreendidos entre 4,61  $\text{mgCl}_2\cdot\text{L}^{-1}$  e 4,94  $\text{mgCl}_2\cdot\text{L}^{-1}$ , nos pontos de coleta, 50% dos valores estavam compreendidos ente 1,45  $\text{mgCl}_2\cdot\text{L}^{-1}$  e 3,42  $\text{mgCl}_2\cdot\text{L}^{-1}$ . Foi verificado que, no R0, alguns valores referentes à COR e TURB apresentaram-se acima do VMP sendo COR em aproximadamente 13% das amostras e TURB em aproximadamente 35% das amostras, logo, esse decréscimo do CRL pode estar relacionado a essas variações nos indicadores COR e TURB. Em relação aos valores de pH (Figura 16b),

50% dos valores no R0 ficaram entre 6,34 e 6,54, já nos pontos de coleta, 50% dos valores ficaram compreendidos entre 6,69 e 6,79, concluindo-se que, com exceção do “*outlier*” no valor de 5,81, todas as amostras permaneceram dentro dos padrões de potabilidade.

Analisando-se as Figuras 16c e 16d observam-se os valores referentes à cor e turbidez, foi observado um aumento nos valores de ambos os indicadores, porém os valores relativos à cor apresentaram aproximadamente 28% acima do VMP, contudo, todas as amostras mantiveram-se dentro dos padrões de potabilidade em relação à turbidez. Esse aumento nos valores de cor e turbidez pode estar relacionado ao decaimento do CRL acima mencionado.

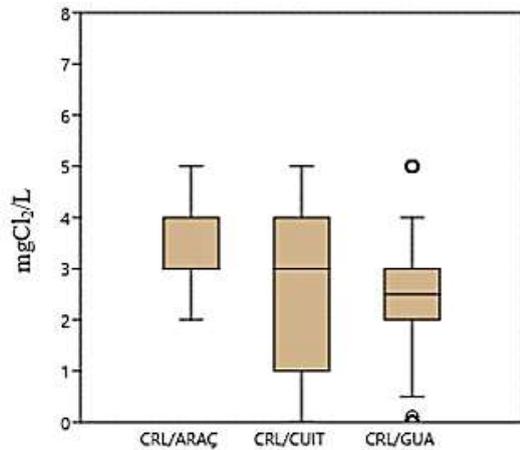
Deve-se salientar que para a obtenção dos dados referentes ao CRL e turbidez foram utilizados métodos que dependem da observação do operador no momento do teste, por exemplo:

- Para a obtenção dos dados referentes ao CRL, foi utilizado o método colorimétrico que utiliza a orto-tlídina como reagente, este é um método não tão preciso quanto o método titulométrico DPD-SFA ou até mesmo o método fotométrico, logo, isso explica a variabilidade dos valores para CRL apresentados nas amostras;
- Para obtenção dos dados referentes à cor, foi utilizado o método de colorimétrico com comparação de disco com tubo de Nessler, este método não tem a precisão de resultados como o método fotométrico, o que explica a grande variabilidade de dados.

#### **4.4 Representações gráficas entre os pontos de coleta de Araçagi, Cuitegi e Guarabira**

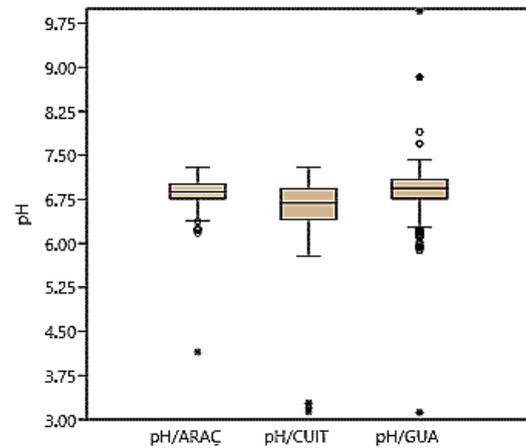
Nas figuras 17a, 17b, 17c e 17d, encontram-se os diagramas *box-plot*, representando as comparações de cada variável dos pontos de coleta com as variáveis das redes de distribuição de água das cidades de Araçagi, Cuitegi e Guarabira.

**Figura 17a:** Comparação do CRL entre Araçagi, Cuitegi e Guarabira.



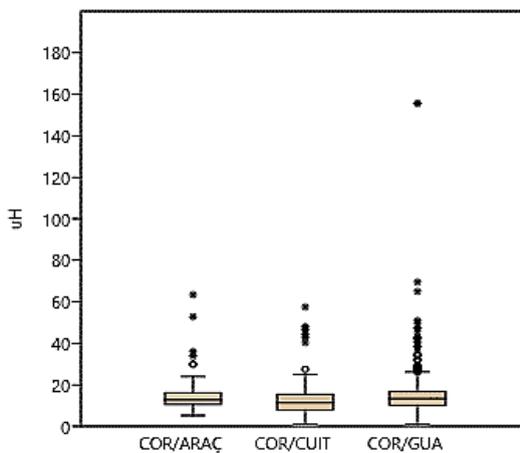
Fonte: Elaborada pelo autor,2021

**Figura 17b:** Comparação do pH entre Araçagi, Cuitegi e Guarabira.



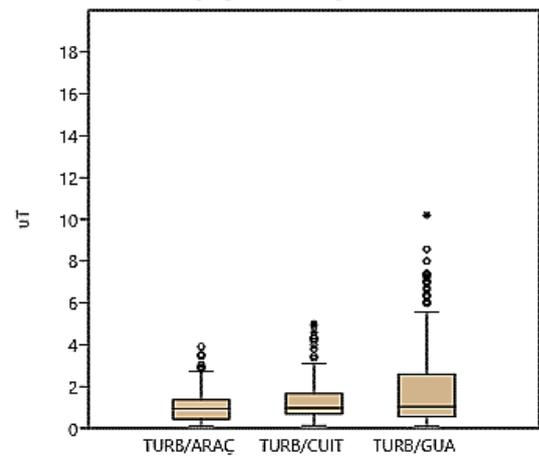
Fonte: Elaborada pelo autor,2021

**Figura 17c:** Comparação da COR entre Araçagi, Cuitegi e Guarabira.



Fonte: Elaborada pelo autor,2021

**Figura 17d:** Comparação da TURB entre Araçagi, Cuitegi e Guarabira.



Fonte: Elaborada pelo autor,2021

Para o CRL (Figura 17a), os valores máximos das concentrações ficaram em torno de  $5,0 \text{ mgCl}_2 \cdot \text{L}^{-1}$  e valores mínimos de  $0,0 \text{ mgCl}_2 \cdot \text{L}^{-1}$ , verificando-se, na cidade de Cuitegi, uma maior variação, porém foi na cidade de Guarabira, que é uma cidade bem maior em relação às outras duas, que foi observado o maior número de “outliers”. Na Figura 17b, que são os valores referentes ao pH, observou-se que os pontos de coleta das três cidades apresentaram grande parte de seus valores dentro dos padrões exigidos, apresentando valores para mediana bem próximos entre si. Cuitegi apresentou maior variabilidade dos dados; algumas amostras apresentaram valores de “outliers” inferiores, porém só os pontos de coleta de Guarabira

apresentaram “*outliers*” superiores.

Os valores relativos à cor são ilustrados na Figura 17c, os quais apresentaram valores semelhantes entre as três cidades, com medianas e valores máximos bem próximos, sendo observado valores para “*outliers*” superiores, com destaque para a cidade de Guarabira que apresentou um valor de 156uH que, por se tratar de um valor muito alto, pode ter havido um erro na leitura desse dado ou na sua transcrição. Em relação à turbidez (Figura 17d), observou-se que os valores mínimos e da mediana apresentaram-se semelhantes entre as três cidades, porém os valores mais elevados se encontraram na cidade de Guarabira, que por ficar a aproximadamente 27km da ETA de Araçagi e aproximadamente 7,612km (ETA Cuitegi a R1 Guarabira) e 9,095km (ETA Cuitegi a R2 Guarabira) apresenta maior decaimento do CRL e, conseqüentemente, aumento nos níveis de turbidez. Outro fator relevante é que algumas tubulações que fornecem água para Guarabira são compostas por cimento amianto e ferro fundido, que contribuem significativamente tanto para o consumo do cloro como aumento da turbidez.

Logo, ao se comparar a variação dos indicadores de qualidade da água entre as três cidades, deve-se levar em consideração que os sistemas são distintos entre si, observando-se algumas características como:

Portes distintos entre as cidades, destacando-se a cidade de Guarabira seguida de Araçagi e Cuitegi;

- Diferentes distâncias de cada cidade em relação às ETA’s;
- Diferentes contingentes populacionais que são abastecidos por cada sistema;
- Composição das tubulações, em que os três sistemas possuem canalizações de cimento amianto, ferro fundido e PVC.

## **4.5 Correlação linear entre as variáveis**

### **4.5.1 Teste de normalidade**

Analisando-se os resultados das amostras das três cidades, aplicou-se o teste de normalidade de Shapiro-Wilk, pois, segundo o trabalho de Torman et al (2012), esse teste indicou percentual de acerto de 75,94% para um tamanho amostral variando de 100 até 499 amostras e um percentual de acerto de 92,16% para um tamanho amostral variando de 500 até 999 amostras. Nas Tabelas 14, 15 e 16 são indicados os valores para os testes de normalidade

de Shapiro-Wilk e os p-valores para cada variável.

**Tabela 14** – Teste de normalidade para as variáveis da cidade de Araçagi.

VARIÁVEIS	TESTE SHAPIRO-WILK	p-VALOR
CRL	0,8685	6,52E-09
pH	0,6757	6,37E-15
COR	0,6577	2,45E-15
TURB	0,8839	3,20E-08

Fonte: Elaborada pelo autor,2021

**Tabela 15** – Teste de normalidade para as variáveis da cidade de Cuitegi.

VARIÁVEIS	TESTE SHAPIRO-WILK	p-VALOR
CRL	0,9075	2,94E-06
pH	0,969	0,01778
COR	0,7433	5,36E-12
TURB	0,7928	1,30E-10

Fonte: Elaborada pelo autor,2021

**Tabela 16** – Teste de normalidade para as variáveis da cidade de Guarabira.

VARIÁVEIS	TESTE SHAPIRO-WILK	p-VALOR
CRL	0,9495	2,39E-15
pH	0,8069	5,38E-29
COR	0,6412	7,20E-37
TURB	0,8299	1,66E-27

Fonte: Elaborada pelo autor,2021

Para se aplicar o teste de normalidade de Shapiro-Wilk, formulou-se duas hipóteses:

- **H<sub>0</sub> (hipótese nula):** Que a amostra tem distribuição normal;
- **H<sub>A</sub> (hipótese alternativa):** Que a amostra não tem distribuição normal.

Adotando-se um nível de significância de 5% ( $\alpha=0,05$ ), tem-se:

- p-valor  $> \alpha$ , aceita **H<sub>0</sub>**, ou seja, os dados são normais;
- p-valor  $< \alpha$ , rejeita **H<sub>0</sub>**, ou seja, dados não normais.

Logo, analisando-se os p-valores das Tabelas 14, 15 e 16, conclui-se que seus valores são inferiores ao nível de significância ( $\alpha=0,05$ ), portanto, rejeita-se **H<sub>0</sub>**, concluindo-se que as variáveis não seguem uma distribuição normal, ou seja, esses conjuntos de dados não são paramétricos. Diante desses fatos, a correlação mais adequada a ser utilizada será a de Spearman, que tem a finalidade de correlacionar dados não normais.

#### 4.5.2 Matriz de correlação de Spearman – Araçagi

Na Tabela 17 encontra-se a matriz de correlação de Spearman com os dados referentes

à cidade de Araçagi.

**Tabela 17** – Matriz de correlação de Spearman dos dados coletados na cidade de Araçagi.

INDICADOR		CRL	pH	COR	TURB
CRL	Spearman's rho <sup>(1)</sup>	1			
	p-valor <sup>(2)</sup>	—			
pH	Spearman's rho	0,057	1		
	p-valor	0,538	—		
COR	Spearman's rho	-0,283	-0,136	1	
	p-valor	0,002	0,138	—	
TURB	Spearman's rho	-0,131	0,066	0,329	1
	p-valor	0,154	0,476	< 0,001	—

Fonte: Elaborada pelo autor, 2021

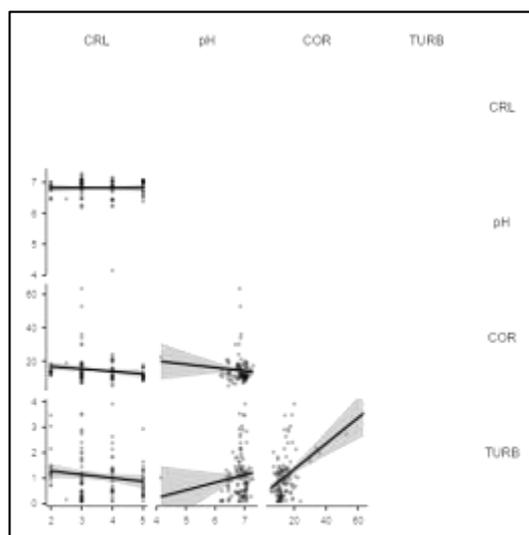
Nota:

<sup>(1)</sup> Spearman's rho: é o coeficiente de correlação de postos de Spearman ou r<sub>s</sub> de Spearman.

<sup>(2)</sup> p-valor: valor-p (nível descritivo ou probabilidade de significância).

Analisando-se os p-valores contidos na Tabela 17, observa-se que apenas os pares CRL/COR e COR/TURB apresentam correlações significativas entre si, apresentando os valores -0,283 e 0,329 respectivamente, sendo que a primeira correlação se apresentou negativa, ou seja, são variáveis inversamente proporcionais entre si, contudo, a segunda correlação pode ser definida por diretamente proporcional por apresentar valor positivo. De fato, com o aumento do cloro residual no sistema, os valores de cor e turbidez tenderão a diminuir, já como aumento da turbidez haverá aumento na cor aparente da água. A Figura 18 representa graficamente a correlação referente à Tabela 17.

**Figura 18:** Representação gráfica da matriz de correlação entre as variáveis de Araçagi.



Fonte: Elaborada pelo autor,2021

#### 4.5.3 Matriz de correlação de Spearman– Cuitegi

A Tabela 18 representa a matriz de correlação de Spearman dos dados referentes à cidade de Cuitegi.

**Tabela 18** – Matriz de correlação de Spearman dos dados coletados na cidade de Cuitegi.

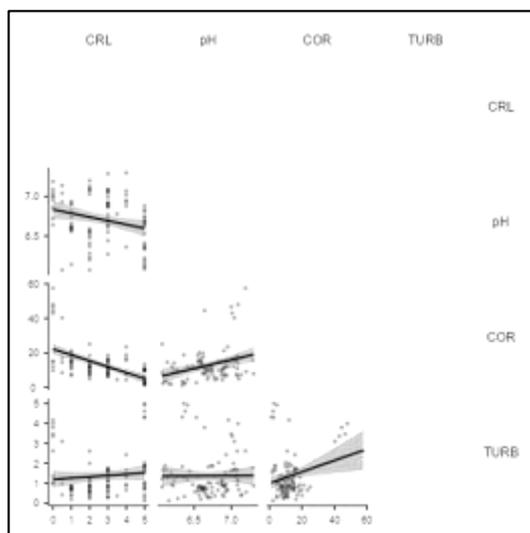
INDICADOR		CRL	pH	COR	TURB
CRL	Spearman's rho	1			
	p-valor	—			
pH	Spearman's rho	-0,225	1		
	p-valor	0,024	—		
COR	Spearman's rho	-0,581	0,281	1	
	p-valor	< 0,001	0,004	—	
TURB	Spearman's rho	0,147	0,071	0,044	1
	p-valor	0,143	0,483	0,659	—

Fonte: Elaborada pelo autor,2021

Analisando-se os p-valores contidos na Tabela 18, observa-se que os pares CRL/pH, CRL/COR e pH/COR apresentam correlações entre si com valores -0,225, -0,581 e 0,281 respectivamente. As duas primeiras correlações apresentam-se de forma negativa, ou seja, são variáveis inversamente proporcionais entre si, de certo, caso haja diminuição no pH, haverá uma diminuição na formação de CRL e, conseqüentemente, aumento na cor. Na última

correlação, observa-se que as variáveis são diretamente proporcionais. A Figura 19 representa graficamente a correlação referente à Tabela 18.

**Figura 19:** Representação gráfica da matriz de correlação entre as variáveis de Cuitegi.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2021

#### 4.5.4 Matriz de correlação – Guarabira

Na Tabela 19 é representada a matriz de correlação de Spearman dos dados referentes à cidade de Guarabira.

**Tabela 19** – Matriz de correlação de Spearman dos dados coletados na cidade de Guarabira.

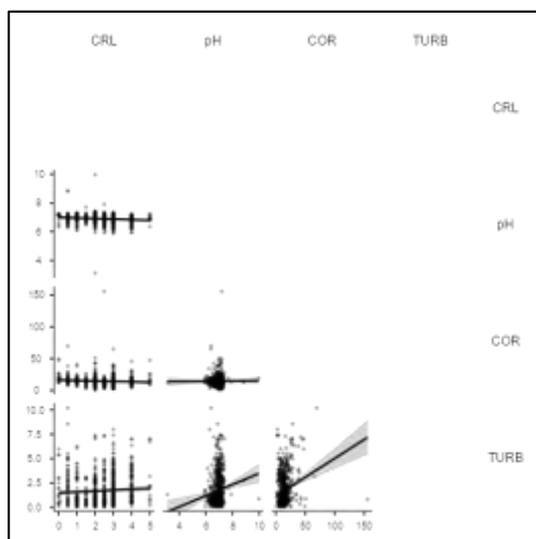
INDICADOR		CRL	pH	COR	TURB
<b>CRL</b>	Spearman's rho	1			
	p-valor	—			
<b>pH</b>	Spearman's rho	-0,143	1		
	p-valor	< 0,001	—		
<b>COR</b>	Spearman's rho	-0,126	0,007	1	
	p-valor	< 0,001	0,858	—	
<b>TURB</b>	Spearman's rho	0,095	0,157	0,218	1
	p-valor	0,009	<0,001	< 0,001	—

Fonte: Elaborada pelo autor, 2021

Analisando-se os p-valores contidos na Tabela 19, observa-se que os pares CRL/pH, CRL/COR, CRL/TURB, pH/TURB e COR/TURB apresentam correlação entre si com números -0,143, -0,126, 0,095, 0,157 e 0,218 respectivamente. As duas primeiras correlações são

inversamente proporcionais, as demais são diretamente proporcionais. A Figura 20 representa graficamente a matriz de correlação da Tabela 21.

**Figura 20:** Representação gráfica da matriz de correlação entre as variáveis de Guarabira.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2021

## 4.6 ANÁLISE MULTIVARIADA

### 4.6.1 *Análise de componentes principais*

O objetivo desta análise é de se encontrar um novo conjunto de variáveis não correlacionadas, que são as componentes principais, perdendo-se o menor número possível de informações.

Para se iniciar o processo, são determinados os valores próprios da matriz de correlação dos dados para as cidades de Araçagi, Cuitegi e Guarabira. Para se calcular os autovalores foi utilizado o software Jamovi.

### 4.6.2 *ACP dos dados da cidade de Araçagi*

Na Tabela 20, estão contidos os autovalores, percentagem de variância e a percentagem acumulada de cada componente principal da cidade de Araçagi. Foi utilizada a rotação varimax para se encontrar as componentes principais.

**Tabela 20** – Características das componentes principais - Araçagi.

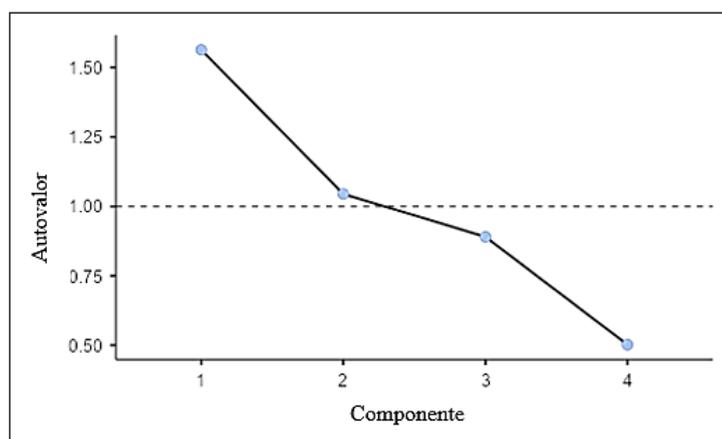
COMPONENTES	AUTOVALOR	% DE VARIÂNCIA	% ACUMULADA
1	1,564	39,1	39,1
2	1,045	26,1	65,2
3	0,890	22,3	87,5
4	0,502	12,5	100,0

Fonte: Elaborada pelo autor,2021

Analisando-se os valores da Tabela 20, observa-se a proporção de variância que é explicada por cada componente principal, ou seja, a primeira componente explica 39,1% da variabilidade total, a segunda componente explica 26,1% da variância não explicada pela primeira componente e assim sucessivamente. Retendo-se as três primeiras componentes, haverá 87,5% da variabilidade total. O critério de Kaiser, proposto em 1960, sugere que apenas as componentes principais com autovalores acima de 1 (um) sejam retidas, logo, apenas as duas primeiras componentes se enquadrariam nesse critério, explicando 65,2% da variância.

Na Figura 21 tem-se o gráfico *scree-plot* que, segundo Cattell (1966), as componentes que antecederem o declive acentuado do gráfico, serão as componentes a serem retidas.

**Figura 21:** Gráfico *scree-plot* (número de componentes principais *versus* autovalores) da cidade de Araçagi.



Fonte: Elaborada pelo autor,2021

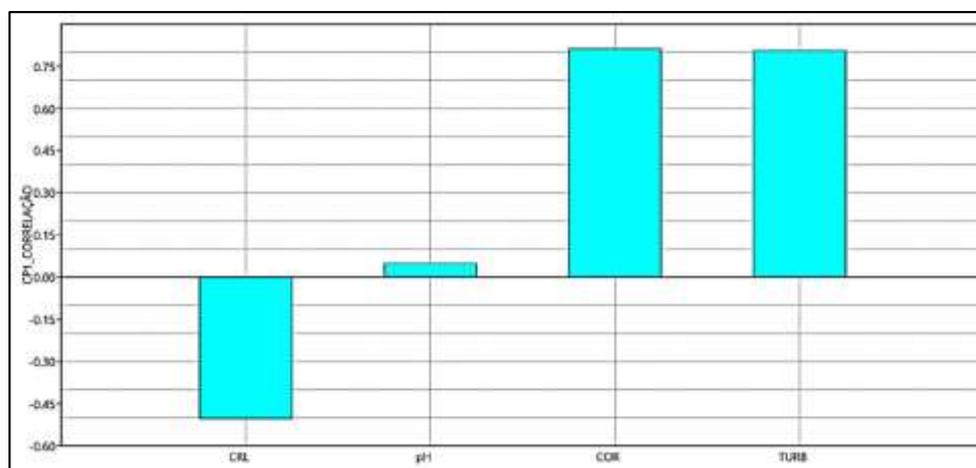
Na Tabela 21, estão contidos os *loadings*/cargas (coeficientes de correlação entre as variáveis e as componentes) das componentes principais de cada variável da cidade de Araçagi. Foram selecionados os coeficientes de correlação mais significativos para cada variável, a fim de compreender qual variável foi mais relevante na formação de cada componente (valores destacados na tabela e, preferencialmente, acima de 0,7).

**Tabela 21** – Coeficientes de correlação das CP de Araçagi.

VARIÁVEIS	CP1	CP2	CP3	CP4
<b>CRL</b>	-0,50341	0,1055	<b>0,85685</b>	0,035326
<b>pH</b>	0,047807	<b>0,97331</b>	-0,10081	0,20053
<b>COR</b>	<b>0,81225</b>	-0,20237	0,2576	0,48264
<b>TURB</b>	<b>0,80509</b>	0,21235	0,28187	-0,47675

Fonte: Elaborada pelo autor,2021

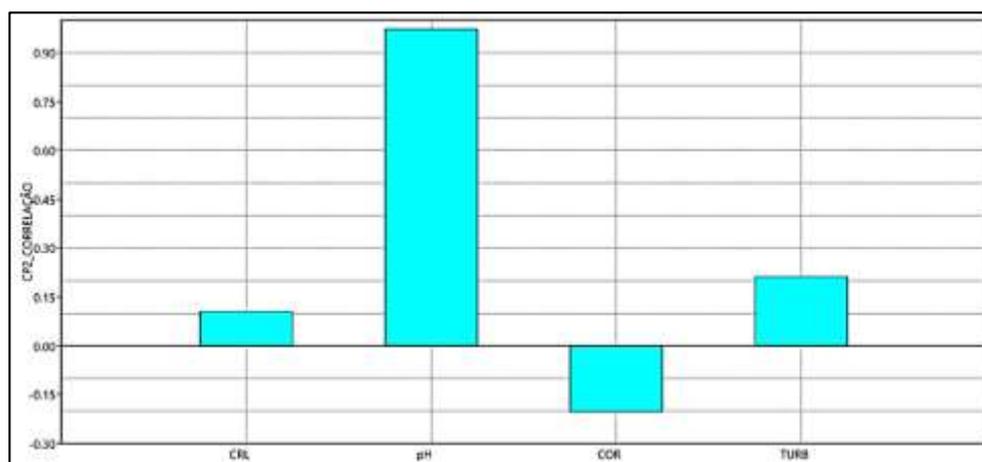
Nota-se que a CP1 é majoritariamente definida pelas variáveis COR e TURB, apresentando valores para os coeficientes de correlação (*loadings*) de **0,81225** e **0,80509**, respectivamente. Essas duas variáveis estão relacionadas ao caráter estético da água, tornando a CP1, portanto, relacionada ao aspecto estético. Analisando a Figura 22 observa-se a relação de cada variável na formação da primeira componente. Um outro fato observável é que as variáveis COR e TURB são inversamente proporcionais à variável pH, de fato, quando as concentrações de cloro residual diminuem dentro do sistema, os valores de COR e TURB aumentam e vice-versa.

**Figura 22:** Correlação entre CP1 e os *loadings* das variáveis de Araçagi.

Fonte: Elaborada pelo autor,2021

A formação da CP2 foi definida pela variável pH, que apresentou um *loading* de **0,97331**, indicando que essa componente esteja ligada ao equilíbrio ácido/base da água. A Figura 23 mostra a relação de cada variável na formação da CP2, onde é notória a relevante contribuição do pH na formação dessa componente.

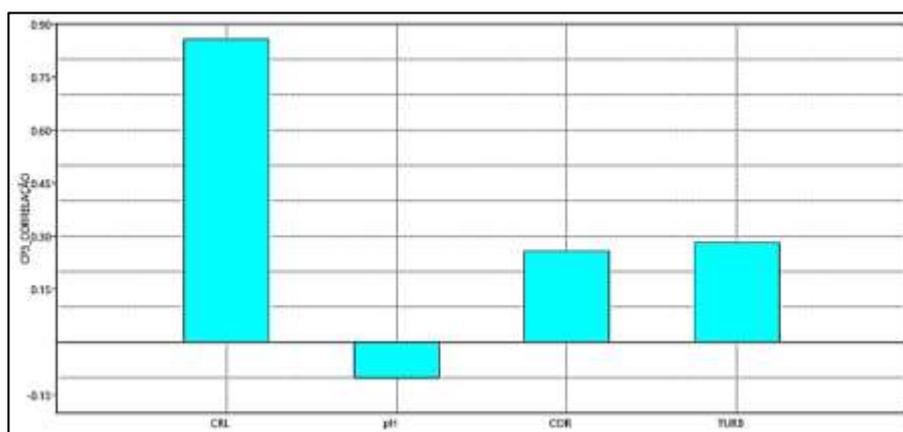
**Figura 23:** Correlação entre CP2 e os *loadings* das variáveis de Araçagi.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2021

Para a CP3 a variável que mais contribuiu para a sua formação foi o CRL, apresentando um coeficiente de correlação de **0,85685**. Por apresentar relação com o CRL, esta componente possui relação com o caráter sanitário da água. Na Figura 24, pode-se observar a relação de cada variável com a formação da CP3. A variável CRL é inversamente proporcional à variável pH, de fato, quando há um decréscimo do pH, o meio se torna ácido, favorecendo a formação do HClO e, conseqüentemente, a diminuição da COR e TURB (inversamente proporcionais ao CRL).

**Figura 24:** Coeficientes de correlação entre CP3 e as variáveis de Araçagi

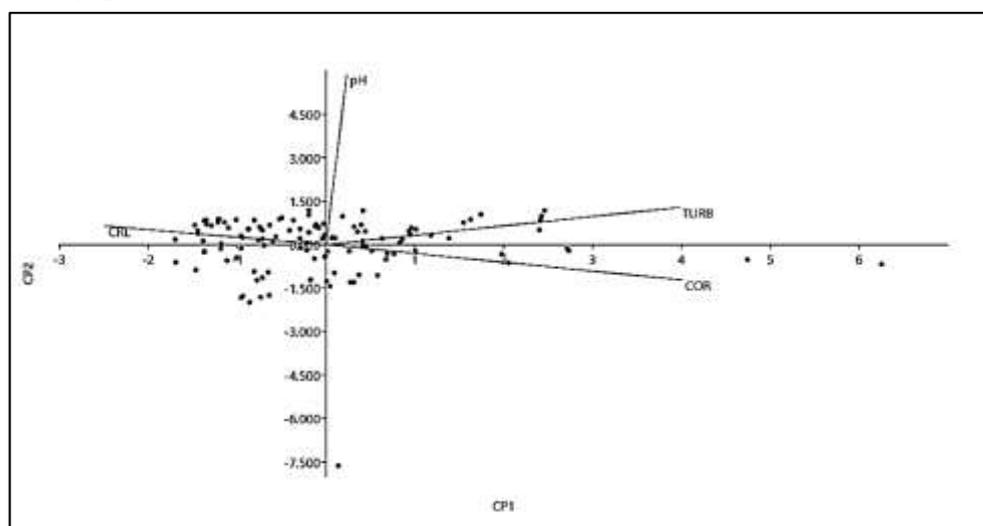


Fonte: Elaborada pelo autor, 2021

Na Figura 25 é observada a representação gráfica (*biplot*) dos coeficientes de correlação e das duas primeiras componentes principais da cidade de Araçagi. As variáveis COR e TURB estão inclinadas ao ponto de estarem próximas ao eixo das abcissas (CP1) indicando a correlação dessas variáveis com a primeira componente, de forma análoga, a variável pH está

próxima ao eixo das ordenadas (CP2) indicando sua forte correlação com a segunda componente.

**Figura 25:** Gráfico *biplot* das duas primeiras CP's e os coeficientes de correlação da cidade de Araçagi



**Fonte:** Elaborada pelo autor, 2021

Como já mencionado, as duas primeiras componentes explicam 65,2% da variância total dos dados, concluindo-se que, por estarem ligados a essas componentes, os indicadores CRL, COR e TURB são responsáveis por essa variância de dados. Conclui-se também que a redução da dimensionalidade foi de 4 para 2.

#### 4.6.3 ACP dos dados da cidade de Cuitegi

Na Tabela 22, estão contidos os autovalores, percentagem de variância e a percentagem acumulada de cada componente principal da cidade de Cuitegi. Esses valores foram calculados com auxílio do software Jamovi. Foi utilizada a rotação varimax para se encontrar as componentes principais.

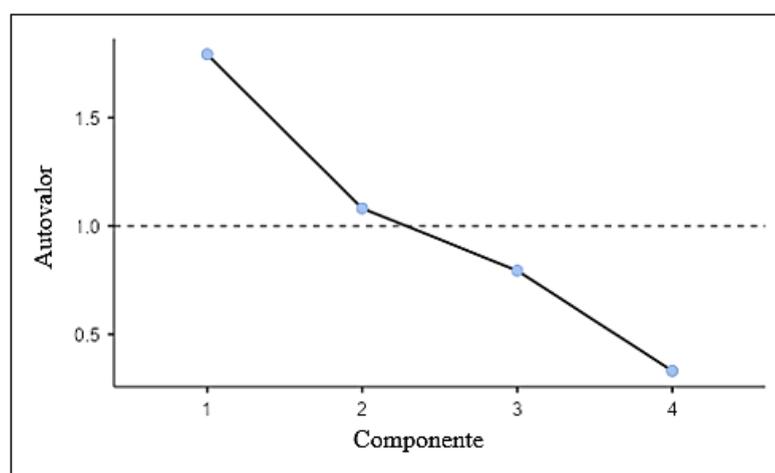
**Tabela 22** – Características das componentes principais - Cuitegi.

COMPONENTES	AUTOVALOR	%DE VARIÂNCIA	% ACUMULADA
1	1,793	44,82	44,8
2	1,082	27,05	71,9
3	0,794	19,85	91,7
4	0,331	8,28	100,0

**Fonte:** Elaborada pelo autor, 2021

Analisando-se os valores da Tabela 22, observa-se a proporção de variância que é explicada por cada componente principal, ou seja, a primeira componente explica 44,82% da variabilidade total, a segunda componente explica 27,05% da variância não explicada pela primeira componente e assim sucessivamente. Pelo critério de Kaiser, apenas as duas primeiras componentes devem ser retidas, explicando 71,9% da variabilidade total. A Figura 26 representa o gráfico *scree-plot* referente às componentes contidas na Tabela 22, indicando quais componentes foram retidas.

**Figura 26:** Gráfico *scree-plot* (número de componentes principais versus valores próprios) Cuitegi.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2021

Na Tabela 23, estão contidos os coeficientes de correlação das componentes principais de cada variável da cidade de Cuitegi. Foram selecionados os coeficientes de correlação mais significativos para cada variável, tendo como finalidade compreender qual variável foi a que mais contribuiu na formação de cada componente (valores destacados na tabela e, preferencialmente, acima de 0,7).

**Tabela 23** – Coeficientes de correlação das CP de Cuitegi.

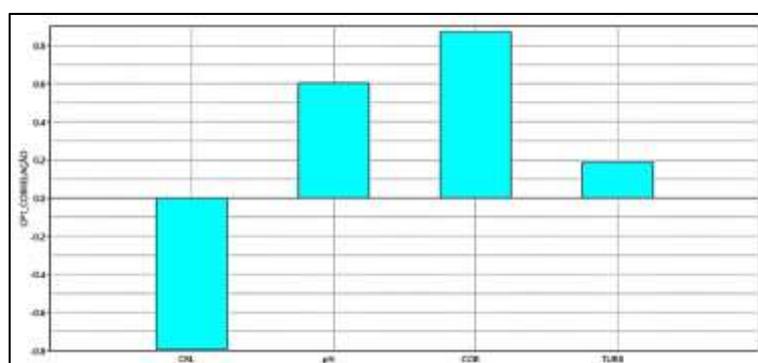
VARIÁVEIS	CP1	CP2	CP3	CP4
CRL	-0,79592	0,31096	0,38251	0,35143
pH	0,60344	-0,16664	0,77782	-0,055511
COR	0,87185	0,19274	-0,20022	0,40328
TURB	0,18765	0,95932	0,051354	-0,20458

Fonte: Elaborada pelo autor, 2021

Analisando-se a coluna da CP1, observa-se que CRL e COR foram as variáveis que

mais contribuíram para a formação desta componente, apresentando os *loadings* **-0,79592** e **0,87185**, respectivamente. Observa-se que a variável CRL é inversamente proporcional à COR, de fato, quando houver uma redução no pH do meio haverá um favorecimento na formação do HClO contribuindo para a redução da COR. Essa componente possui caráter misto, ou seja, por estar ligada ao CRL e a COR, possui características sanitárias e estéticas na água desse sistema. A Figura 27 mostra as contribuições de cada variável para a formação da CP1 na cidade de Cuitegi.

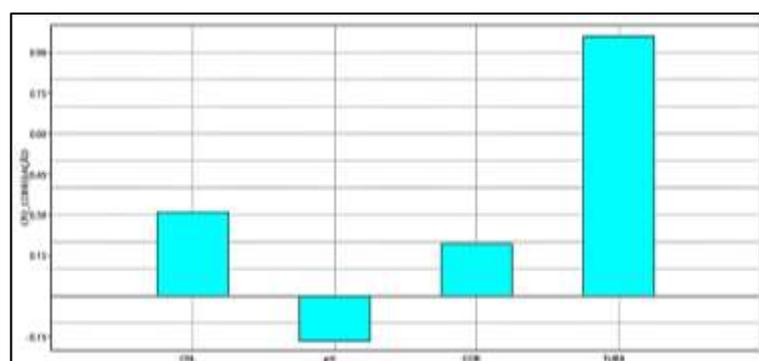
**Figura 27:** Correlação entre CP1 e os *loadings* das variáveis de Cuitegi.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2021

Ao se analisar os coeficientes de correlação referentes à CP2 observa-se que a TURB foi a variável mais relevante para a formação desta componente, apresentando um *loading* de **0,95932**. A TURB mostrou-se inversamente proporcional ao pH. Por estar fortemente correlacionada com a TURB, a CP2 pode ser relacionada ao caráter estético da água. A Figura 28 mostra as contribuições de cada variável para a formação da CP2 na cidade de Cuitegi.

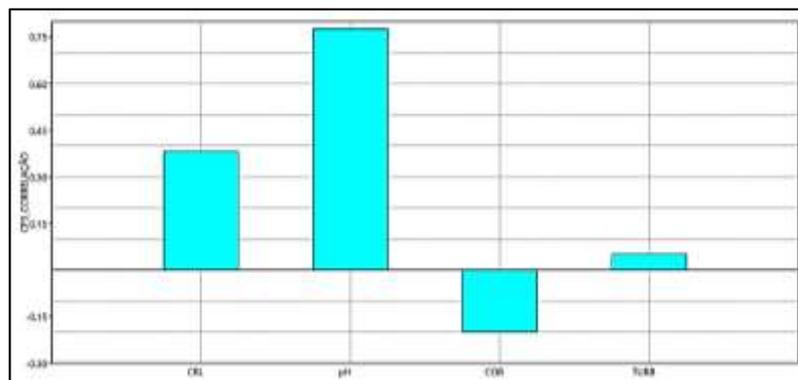
**Figura 28:** Correlação entre CP2 e os *loadings* das variáveis de Cuitegi.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2021

Para a formação da CP3, foi observado que a variável mais relevante foi o pH, apresentando um coeficiente de correlação (*loading*) de **0,77782**. Por estar correlacionada ao pH, essa componente está relacionada ao equilíbrio ácido-base da água. A Figura 29 mostra as contribuições de cada variável para a formação da CP3 na cidade de Cuitegi.

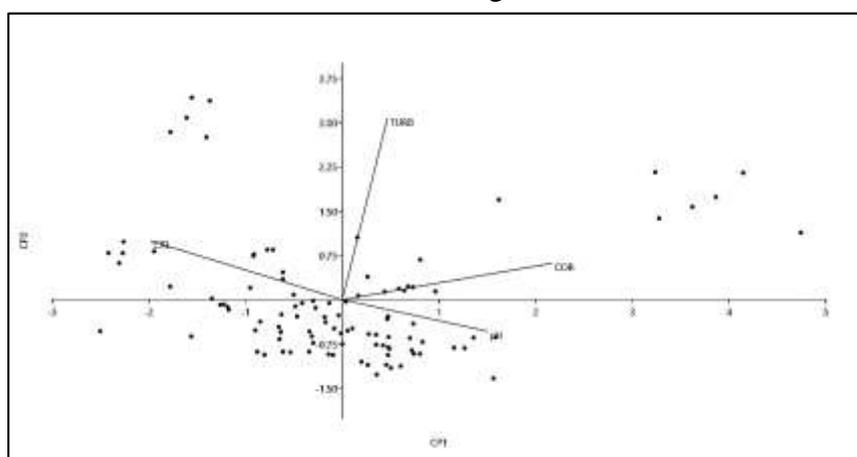
**Figura 29:** Coeficientes de correlação entre CP3 e as variáveis de Cuitegi.



Fonte: Elaborada pelo autor,2021

Na Figura 30, é observada a representação gráfica (*biplot*) no plano cartesiano dos *loadings* e das duas primeiras componentes principais da cidade de Cuitegi. As variáveis, CRL e COR estão inclinadas ao ponto de estarem próximas ao eixo das abcissas (CP1) indicando a forte correlação dessas variáveis com a primeira componente, de forma análoga, a variável TURB está próxima ao eixo das ordenadas (CP2) indicando sua correlação com a segunda componente.

**Figura 30:** Representação gráfica *biplot* das duas primeiras CP e os *loadings* da cidade de Cuitegi.



Fonte: Elaborada pelo autor,2021

Como já mencionado, as duas primeiras componentes explicam 71,9% da variância total, sendo os indicadores CRL, COR e TURB responsáveis por essa explicação. Como foram retidas as duas primeiras componentes principais, a redução da dimensionalidade foi de 4 para 2.

#### 4.6.4 ACP dos dados da cidade de Guarabira

Na Tabela 24, estão contidos os autovalores, percentagem de variância e a percentagem acumulada de cada componente principal que foi gerada com os dados da cidade de Guarabira. Esses valores foram calculados como auxílio do software Jamovi. Ao se utilizar a rotação varimax encontraram-se as componentes principais:

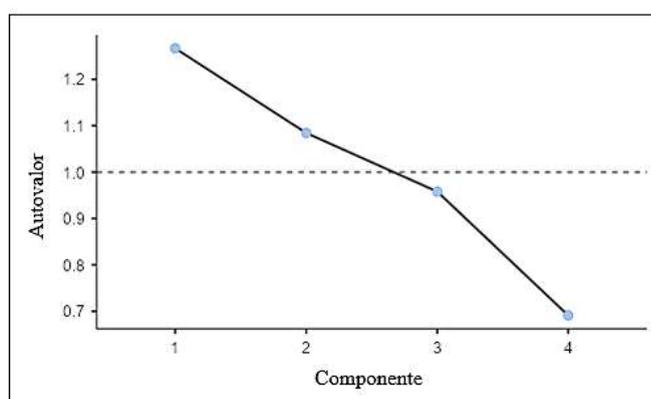
**Tabela 24** – Características das componentes principais - Guarabira.

COMPONENTES	AUTOVALOR	% DE VARIÂNCIA	% ACUMULADA
1	1,267	31,7	31,7
2	1,084	27,1	58,8
3	0,958	23,9	82,7
4	0,691	17,3	100,0

Fonte: Elaborada pelo autor,2021

Analisando-se os valores da Tabela 24, observa-se que a primeira componente explica 31,7% da variabilidade total, a segunda componente explica 27,1% da variância não explicada pela primeira componente e assim sucessivamente. Pelo critério de Kaiser, ao se reter as duas primeiras componentes, serão explicados 58,8% da variabilidade total. A Figura 31 representa o gráfico *scree-plot* referente às componentes da Tabela 24, indicando quantas componentes foram geradas e quais foram retidas.

**Figura 31:** Gráfico *scree-plot* (número de componentes principais versus valores próprios)



Fonte: Elaborada pelo autor,2021

Guarabira.

Na Tabela 25, encontram-se os coeficientes de correlação entre as componentes principais e cada variável da cidade de Guarabira. Foram selecionados os coeficientes mais significativos para cada variável, tendo como finalidade compreender qual variável foi a que mais contribuiu na formação de cada.

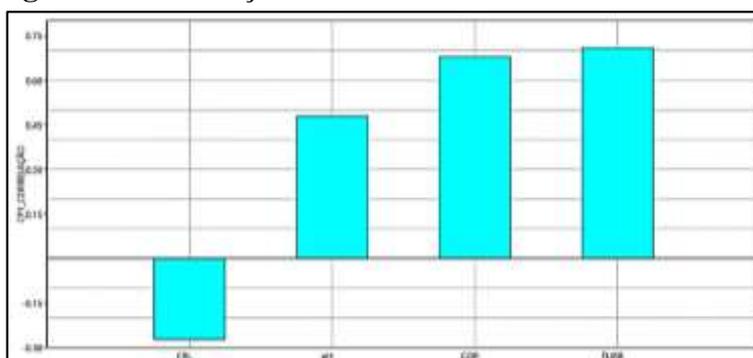
**Tabela 25** – Coeficientes de correlação das CP de Guarabira.

VARIÁVEIS	CP1	CP2	CP3	CP4
CRL	-0,27195	0,78599	0,42882	0,35267
pH	0,47969	-0,49068	0,6482	0,3301
COR	0,6779	0,22394	-0,54232	0,44293
TURB	0,70919	0,41923	0,2444	-0,51143

Fonte: Elaborada pelo autor,2021

Na coluna da CP1, observa-se que COR e TURB foram as variáveis que mais contribuíram para a formação desta componente, indicando uma relação da CP1 ao caráter estético da água, apresentando coeficientes de correlação de **0,6779** para COR e **0,70919** para TURB. A Figura 32 mostra as contribuições de cada variável para a formação da CP1 na cidade de Guarabira.

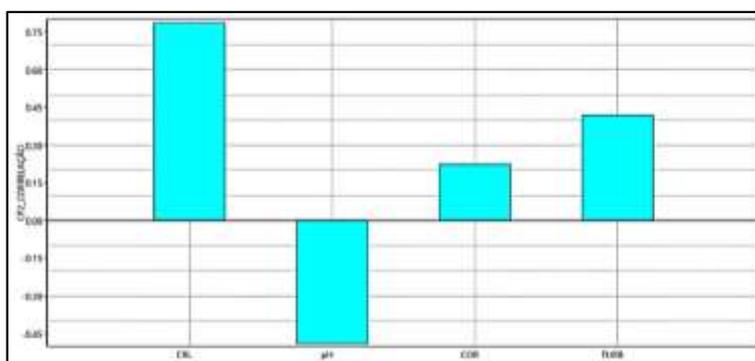
**Figura 32:** Correlação entre CP1 e as variáveis de Guarabira.



Fonte: Elaborada pelo autor,2021

O CRL foi a variável mais relevante na formação da CP2, apresentando coeficiente de correlação de **0,78599**, indicando a relação dessa componente ao caráter sanitário da água. A Figura 33 mostra as contribuições de cada variável para a formação da CP2 na cidade de Guarabira.

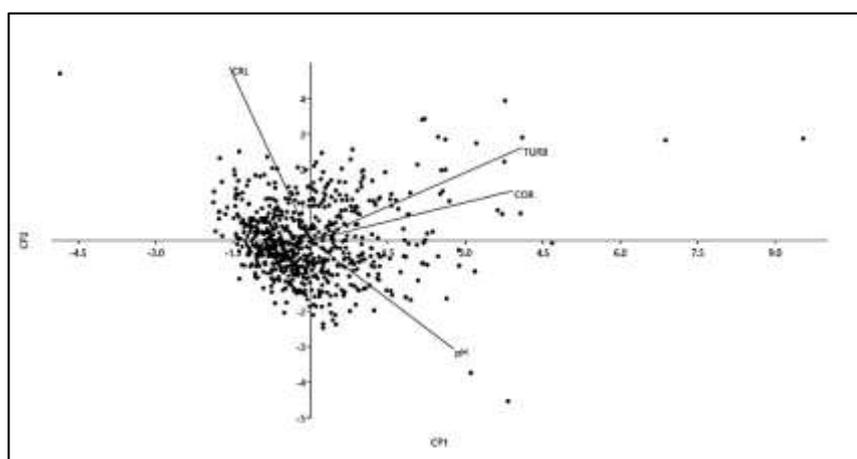
**Figura 33:** Correlação entre CP2 e as variáveis de Guarabira.



Fonte: Elaborada pelo autor,2021

Na Figura 34 é observada a representação gráfica (*biplot*) dos *loadings* e das duas primeiras componentes principais da cidade de Guarabira. As variáveis TURB e COR estão inclinadas ao ponto de estarem próximas ao eixo das abcissas (CP1) indicando a forte correlação dessas variáveis com a primeira componente, de forma análoga, a variável CRL está próxima ao eixo das ordenadas (CP2) indicando sua correlação com a segunda componente. Analisando-se os valores absolutos dos *loadings* do pH em relação à CP1 e CP2, observa-se a similaridade da correlação dessa variável com as duas componentes principais.

**Figura 34:** Gráfico *biplot* das duas primeiras CP e os *loadings* da cidade de Guarabira.



Fonte: Elaborada pelo autor,2021

Como já listado, as duas primeiras componentes explicaram 58,8% da variância total dos dados, sendo os indicadores CRL, COR e TURB os responsáveis por essa explicação no sistema de Guarabira, concluindo-se que redução da dimensionalidade foi de 4 para 2.

#### 4.6.5 ACP baseada na matriz única com somatório dos dados de Araçagi, Cuitegi e Guarabira

Na Tabela 26 estão contidos os autovalores, percentagem de variância e a percentagem acumulada de cada componente da ACP do somatório do conjunto dos dados de qualidade de água das cidades de Araçagi, Cuitegi e Guarabira.

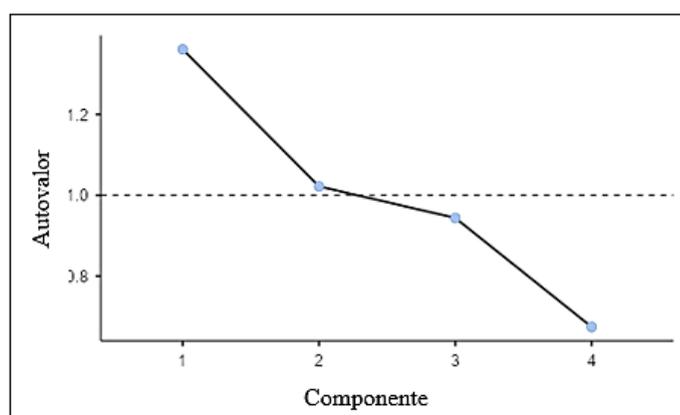
**Tabela 26** – Características das componentes principais – Araçagi/Cuitegi/Guarabira.

COMPONENTES	AUTOVALOR	% DE VARIÂNCIA	% CUMULATIVO
1	1,360	34,0	34,0
2	1,022	25,5	59,5
3	0,944	23,6	83,1
4	0,674	16,9	100,0

Fonte: Elaborada pelo autor,2021

Pela Tabela 26, pode-se observar a proporção de variância explicada por cada componente, sendo que a primeira componente explica 34,0% da variabilidade total, a segunda componente explica 25,5% da variância não explicada pela primeira componente e assim por diante. Baseando-se no critério de Kaiser, apenas as duas primeiras componentes foram retidas, explicando 59,5% da variância total dos dados. Na Figura 35 é apresentado o gráfico *scree-plot* referente às componentes da Tabela 26, indicando quais componentes foram geradas e retidas.

**Figura 35:** Gráfico *scree-plot* (número de componentes principais versus valores próprios) Araçagi/Cuitegi/Guarabira.



Fonte: Elaborada pelo autor,2021

Na Tabela 27, estão contidos os coeficientes de correlação das componentes principais com cada variável do conjunto das três cidades. Foram selecionados os coeficientes de correlação mais significativos, permitindo verificar quais variáveis mais contribuíram na

formação das componentes em estudo.

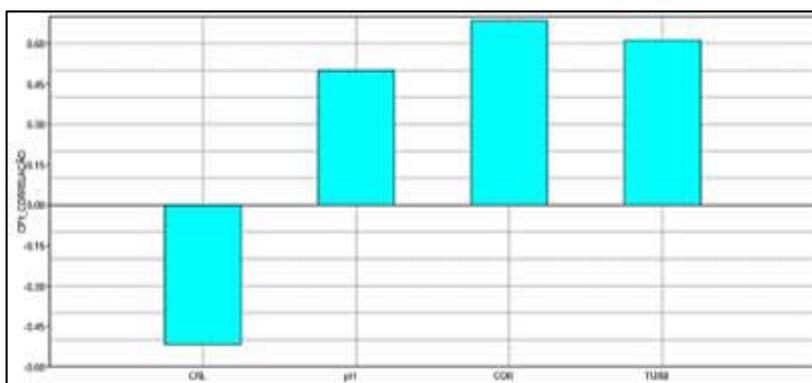
**Tabela 27** – Coeficientes de correlação entre as variáveis e as CP – Araçagi/Cuitegi/Guarabira.

VARIÁVEIS	CP1	CP2	CP3	CP4
<b>CRL</b>	-0,51699	<b>0,6501</b>	0,40661	0,38047
<b>pH</b>	0,49987	-0,43009	<b>0,69227</b>	0,29313
<b>COR</b>	<b>0,68387</b>	0,29215	-0,46151	0,48372
<b>TURB</b>	<b>0,61272</b>	0,57334	0,29341	-0,45801

Fonte: Elaborada pelo autor,2021

Analisando-se a coluna da CP1, observa-se que COR e TURB foram as variáveis que mais contribuíram para a formação desta componente, apresentando coeficientes de **0,68387** e **0,61272**, respectivamente, sendo essa componente ligada ao caráter estético da água. A Figura 36 mostra as contribuições de cada variável para a formação da CP1 no conjunto de dados das três cidades.

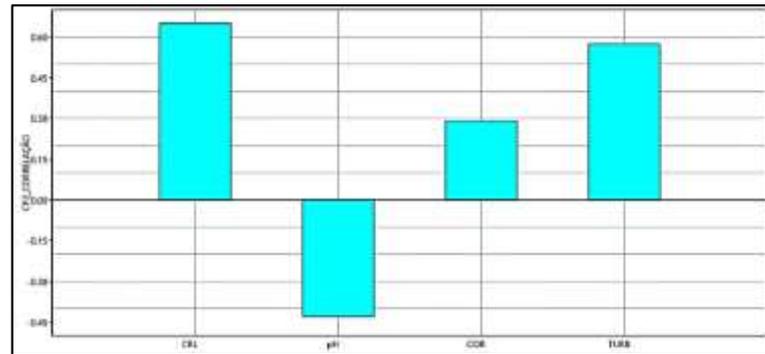
**Figura 36:** Correlação entre CP1 e os *loadings* e as variáveis das três cidades.



Fonte: Elaborada pelo autor,2021

Para a formação da CP2, o CRL foi a variável que mais contribuiu apresentando coeficiente de correlação de **0,6501**, indicando que essa componente tem relação ao caráter sanitário da água. A Figura 37 mostra as contribuições de cada variável para a formação da CP2 no conjunto de dados das três cidades.

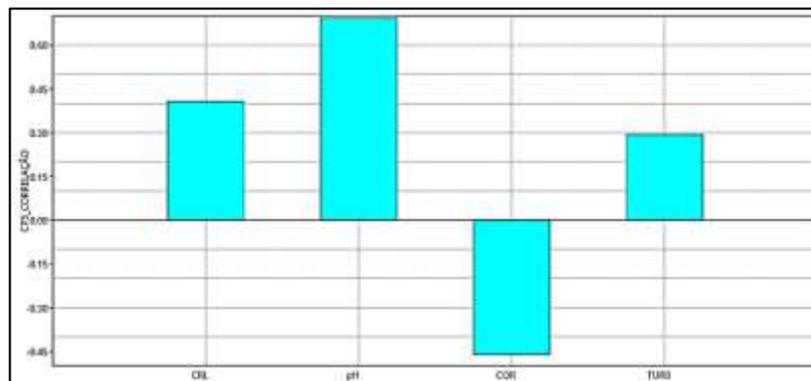
**Figura 37:** Correlação entre CP2 e as variáveis do conjunto das três cidades.



Fonte: Elaborada pelo autor,2021

O pH foi a variável que mais contribuiu para a formação da CP3, apresentando um *loading* de **0,69227**. Esta variável possui caráter ácido-base/equilíbrio ácido-base da água por estar relacionada ao pH. A Figura 38 mostra as contribuições de cada variável para a formação da CP3 no conjunto de dados das três cidades.

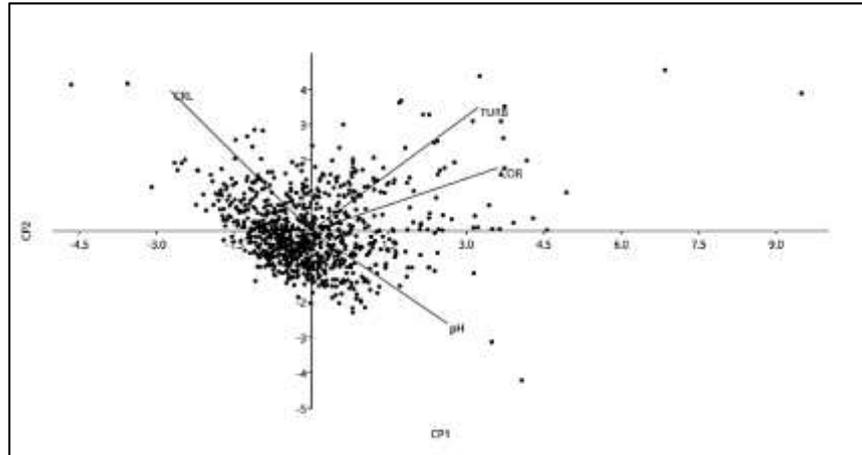
**Figura 38:** Correlação entre CP3 e os *loadings* e as variáveis das três cidades.



Fonte: Elaborada pelo autor,2021

Na Figura 39 é observada a representação gráfica (*biplot*) no plano cartesiano dos *loadings* e das duas primeiras componentes principais da matriz única de dados. As variáveis CRL, COR e TURB contribuíram de forma similar para a formação da CP1 e CP2.

**Figura 39:** Gráfico *biplot* das duas primeiras CP e os *loadings* do conjunto de dados das três cidades.



**Fonte:** Elaborada pelo autor, 2021

Baseando-se nas análises, tem-se que as duas primeiras componentes explicam 59,5% da variância total, logo, ao se observar o comportamento dos indicadores de qualidade da água na matriz única de dados, pode-se concluir que CRL, COR e TURB foram os responsáveis por explicar essa variabilidade dentro desse sistema. Como foram retidas as 2 primeiras componentes principais, a redução da dimensionalidade foi de **4 para 2**.

## 5 CONCLUSÕES

De modo geral, a partir dos dados analisados e dos resultados discutidos sobre o sistema integrado estudado, verificou-se que, sob as condições de operacionalidade no período do estudo, o Sistema Integrado Araçagi/Tauá encontrava-se operando de forma adequada a produzir água segura para consumo humano. Levando-se em consideração que, no período das coletas e análises, a Portaria de Consolidação nº 5/2017MS encontrava-se em vigor, logo, observou-se que os indicadores de qualidade da água, apesar de apresentarem algumas amostras em não-conformidade, constatou-se que, nas cidades de Araçagi, Cuitegi e Guarabira, as amostras, quase que na sua totalidade, apresentaram-se de acordo com os padrões de potabilidade recomendados pela Portaria de Consolidação nº 5/2017MS, exceto a cor que apresentou muitos valores acima do VMP. Logo, conclui-se que o Sistema Integrado Araçagi/Tauá encontrava-se operando adequadamente de acordo com a legislação vigente da época.

Ao se aplicar a Análise de Componentes Principais, foram retidas as duas primeiras componentes principais, concluindo-se que houve uma diminuição da dimensionalidade de 4 para 2 em cada cidade. Com a retenção das duas primeiras componentes, foi possível explicar 65,2% da variabilidade total dos dados para a cidade de Araçagi, 71,9% para Cuitegi e 58,8% para Guarabira e 59,5% para a matriz única de dados. Ao se analisar cada componente, individualmente, foi possível concluir que:

- **Cidade de Araçagi:** CP1 (componente estética da água) explicou 39,1% da variação e a CP2 (componente do equilíbrio ácido/base) explicou 26,1%;
- **Cidade de Cuitegi:** CP1 (componente mista = caráter sanitário e estético) explicou 44,82% da variabilidade dos dados e a CP2 (componente estética) explicou 27,05%;
- **Cidade de Guarabira:** CP1 (componente estética) explicou 31,7% da variabilidade total dos dados e a CP2 (componente sanitária) explicou 27,1% da variabilidade total dos dados.
- **Matriz única de dados:** CP1 (componente estética) explicou 34% da variação e CP2 (componente sanitária) explicou 25,5% da variação.

A ACP demonstrou a grande importância das componentes estética e sanitária na explicação da variância dos indicadores de qualidade da água para consumo humano do Sistema Integrado Araçagi/Tauá.

## REFERÊNCIAS

- ABDI, Hervé; WILLIAMS, Lynne J. Principal component analysis. **Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics**, [s. l.], v. 2, n. 4, p. 433–459, 2010. Disponível em: <http://doi.wiley.com/10.1002/wics.101>
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Abastecimento urbano de água. Resultado por estado. Atlas Brasil**, v. 2. p. 45, 2010.
- AL-JASSER, A.O. **Chlorine decay in drinking-water transmission and distribution systems: Pipe service age effect**. *Water Research*, v. 41, n. 2, p. 387-396, Jan. 2007.
- ALVES, L. S. **Análise da degradação da qualidade da água de abastecimentodistribuída por rede antiga de cimento amianto**. 2014. 114 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) – Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2014.
- ANDRADE, E.M.; ARAÚJO, L.F.P.; ROSA, M.F.; DISNEY, W.; ALVES, A.B. **Seleção dos indicadores da qualidade das águas superficiais pelo emprego da análise multivariada**. *Revista Engenharia Agrícola, Jaboticabal*, v. 27, n. 3, p. 683- 690, 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12.216: projeto de estação**
- BABA, Ricardo Kazuo; VAZ, Maria Salete Marcon Gomes; COSTA, Jéssica da. (2014). **Correlação de dados agrometeorológicos utilizando métodos estatísticos**. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 29(4), 515-526.
- BASTOS, R. K. X.; BEVILACQUA, P.D.; MIERZWA, J. C. **Análise de risco aplicada ao abastecimento de água para consumo humano** In: Pádua, V.L. (coord.) *Remoção de microrganismos patogênicos emergentes e microcontaminantes orgânicos no tratamento de água para consumo humano*. Rio de Janeiro: ABES, 2009, v.1, p. 327-360 (Projeto Prosab).
- BEM, J. S; GIACOMINI, N. M. R.; WAISMANN, M. **Utilização da técnica da análise de clusters ao emprego da indústria criativa entre 2000 e 2010: estudo da Região do Consinos, RS**. *Campo Grande*, v. 16, n. 1, p. 27-41, jan./jun. 2015.
- BERNARDO, L.D.; PAZ, L.P.S. **Seleção de tecnologias de tratamento de água**. Vol1. São Carlos: Editora LDIBE LTDA, 2008, 878p.
- BEVILACQUA P.D. et al. **Densidades de Giardia e Cryptosporidium em mananciais de abastecimento de água e prevalência de giardiase: usos e aplicações do modelo teórico de avaliação de risco**. [CD-ROM] *Anais do XXVIII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental*. Cancun: Associação Interamericana de Engenharia Sanitária e Ambiental; 2002.
- BLOKKER, M.; VREEBURG, J.; SPEIGHT, V. (2014). **Residual chlorine in the extremities of the drinking water distribution system: the influence of stochastic water demands**. *Procedia Engineering*, n. 70, p. 172-180. DOI: 10.1016/j.proeng.2014.02.020
- BRASIL, Ministério da Saúde. **Portaria de consolidação Nº 5, de 28 de setembro de 2017**. *Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde*.

Diário Oficial da União. Brasília. DF. 2017.

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de Cloração de Água em Pequenas Comunidades Utilizando o Clorador Simplificado Desenvolvido pela Funasa / Fundação Nacional de Saúde.** – Brasília: Funasa, 2014. 36 p.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS / Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde.** Brasília: Funasa, 112 p., 2014.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS / Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde.** – Brasília: Funasa, 2014b. 112 p.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria MS nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011.** Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial da União. Brasília. DF. 2011.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde, 2006.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Coordenação-Geral de Vigilância em Saúde Ambiental. **Programa Nacional de Vigilância em Saúde Ambiental relacionada à qualidade da água para consumo humano / Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde, Coordenação-Geral de Vigilância em Saúde Ambiental.** – Brasília: Editora do Ministério da Saúde, 2005. 106 p.: il. color. – (Série C. Projetos, Programas e Relatórios).

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano/ Ministério da Saúde,** Secretaria de Vigilância em Saúde. – Brasília: Ministério da Saúde, 2006b. 212 p. – (Série B. Textos Básicos de Saúde).

CARMO E.H., OLIVEIRA W.K.; PENNA G. **Emergências de saúde pública: conceito, caracterização, preparação e resposta.** Estudos avançados. 2008.

CARVALHO, M. J. H., **Uso de Coagulantes Naturais no Processo de Obtenção de Água Potável,** Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, PR, 2008.

CASTELLANO, G.R.; MORENO, L.X.; MENEGÁRIO, A.A.; GOVONE, J.S.; GASTMANS, D. **Quantificação das emissões de CO<sub>2</sub> pelo solo em áreas sob diferentes estádios de restauração no domínio da Mata Atlântica.** Química Nova, v. 40, n. 4, p. 407-412, 2017.

CATTELL, R., (1966), **The scree test for the number of factors, Multivariate Behavioral Research,** p. 245-276 [inttps://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1207/s15327906mbr0102\\_10](https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1207/s15327906mbr0102_10). Acessado em 09/06/2021.

CHAVES, Lúcia da conceição diogo. **Estudo da cinética de formação de biofilmes em superfícies em contacto com água potável.** Tese de mestrado, Escola de Engenharia,

Departamento de Engenharia Biológica, Universidade do Minho, Braga, Portugal. 2004.

CRAUN, G. F.; BRUNKARD, J. M.; YODER, J. S.; ROBERTS, V. A.; CARPENTER, J.; WADE, T.; ALDERON, R. L.; ROBERTS, J. M.; BEACH, M. J.; ROY, S. L. **Causes of outbreaks associated with drinking water in the united states from 1971 to 2006.** *Clinical Microbiology Reviews*, v. 23, n. 3, p. 507-528, July 2010.

DANIEL, L. A. Métodos alternativos de desinfecção da água. In: **Métodos alternativos de desinfecção da água.** PROSAB, 2001.

**de tratamento de água para abastecimento público.** Rio de Janeiro: ABNT, 1992. 18 p.

**DECRETO Nº 5.440, DE 4 DE MAIO DE 2005.** Estabelece definições e procedimentos sobre o controle de qualidade da água de sistemas de abastecimento e institui mecanismos e instrumentos para divulgação de informação ao consumidor sobre a qualidade da água para consumo humano.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B. **Métodos e técnicas de tratamento de água.** 2.ed. São Carlos: RiMa, 2005. p. 32-33.

FERNANDES, C. S. (2002) **Water Quality Modeling in Pipelines Including the Impact of Hydraulic Transients.** Tese de doutorado, Universidade de Toronto. Departamento de Engenharia Civil, Toronto, Canadá.

FISHER, I., KASTL, G.; SATHASIVAN, A., (2011). **Evaluation of suitable chlorine bulk-decay models for water distribution systems.** *Water Res.* 45, 4896 – 4908.  
doi:10.1016/j.watres.2011.06.032

FISHER, I.; KASTL, G.; SATHASIVAN, A. **A suitable model of combined effects of temperature and initial condition on chlorine bulk decay in water distribution systems.** *Water Research*, v.46, n. 10, p. 3293-3303, June 2012.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE (FUNASA). **Manual de Saneamento.** 3 ed. revisada. Brasília: Funasa, 2006.

GERARD J. T.; CHRISTINE L. C.; BERDELL R. F.; **Microbiologia** - 12ª Edição. ed. Artmed Editora, 2016. p 964.

GHISI, E. et al... **Potential for potable water savings by using rainwater: An analysis over 62 cities in southern Brazil. Building and Environment. Laboratory of Energy Efficiency in Buildings,** Department of Civil Engineering, Federal University of Santa Catarina, Florianópolis-SC, Brazil. 2005.

GOMES, V. S. P. S. **Análise Estatística Multivariada Aplicada a dados Hidrogeológicos.** Dissertação Mestrado em Estatística, Departamento de Estatística e Investigação Operacional, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa.2013, 129 p.

GOYAL, R. V.; PATEL, H. M. **Analysis of residual chlorine in simple drinking water distribution system with intermittent water supply.** *Applied Water Science*, v. 5, n. 3, p. 311–319, 2015.

GRAY, N. F. **Calidad del água potable**. Zaragoza: Acribia, 365 p., 1996.

HAIR JF; ANDERSON R.E.; TATHAM R.L.; Black W.C. **Análise multivariada de dados**. 6ª. ed. Porto Alegre: Bookman; 2009. 688p.

HALLAM, N.B.; WEST, J.R.; FORSTER, C.F.; POWELL, J.C.; SPENCER, I., (2002). **The decay of chlorine associated with the pipe wall in water distribution systems**. *Water Res.* 36, 3479–3488. doi:10.1016/S0043-1354(02)00056-8

HUSBAND, P. S.; BOXALL, J.B. **Asset deterioration and discolouration in water distribution systems**. *Water Research*, v. 45, n. 1, p. 113-124, Jan. 2011.

JÚNIOR, Aristeu de Oliveira. **Água potável nos objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS): um olhar do setor saúde?**. Mestrado profissional em saúde coletiva da Universidade de Brasília (UnB). Universidade de Brasília (UnB). 2018.

KASTL, G.J.; FISHER, I.H.; JEGATHEESAN, V., (1999). **Evaluation of chlorine decay kinetics expressions for drinking water distribution systems modelling**. *J. water supply Res. Technol.* - AQUA 48, 219 – 226

KIÉNNÉ, L.; Lu, W.; LÉVI, Y. (1998). **“Relative Importance of the Phenomena Responsible for Chlorine Decay in Drinking Water Distribution Systems”**. *Water Science Technology*, 38 (6), 219-227.

KUMPEL, E.; NELSON, K. L. **Intermittent Water Supply: Prevalence, Practice, and Microbial Water Quality**. *Environmental Science and Technology*, v. 50, n. 2, p. 542–553, 2016.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. 3. ed. Campinas: Átomo, 2010. 496 p.

LIMA, Erivan Gomes de. **Barragem Tauá-Cuitegi/Paraíba [manuscrito]: análise da distribuição de água e suas dificuldades**. Erivan Gomes de Lima. Trabalho de Conclusão de Curso. UEPB-Centro de Humanidades, 2017. 33p.

LOPES, V. C.; LIBÂNIO, M. **Proposição de um Índice de Qualidade de Estações de Tratamento de Água (IQETA)**. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, v.10, n. 4, p. 318-328, 2005.

MACÊDO, J. A. B. **O processo de desinfecção pelo uso de derivados clorados em função do pH e a portaria 518/2004 do ministério da saúde**. In: Congresso Brasileiro de Química – 2004, Fortaleza (CE), 20 a 24 de setembro 2004. Associação Brasileira de Química (ABQ). p.11

MALHORTA, Naresh. **Pesquisa de Marketing: uma orientação aplicada**. Porto Alegre: Bookman, 2006.

MANNING-DAHAN, T. **PCA and Autoencoders**. [s. l.], 2017.

MARENGO, J. A. 2010. **Vulnerabilidade, impactos e adaptação à mudança do clima no semiárido do Brasil**. Parcerias estratégicas, Brasília, DF, v. 13, n. 27, p. 149-176.

MAROCO, J., (2007), **Análise Estatística com utilização do SPSS**, Edições Sílabo, Lisboa. (2007).

MASSOUD, M. A.; AL-ABADY, A.; JURDI, M. et al. **The challenges of sustainable access to safe drinking water in rural areas of developing countries: case of Zawtar El- Char- kieh, Southern Lebanon**. J. Environ Health, 2010, v. 72, n. 10, p. 24-20.

Ministério da Saúde. Portal da saúde. Sisagua. Brasília: Ministério da Saúde. Disponível em <http://sisagua.saude.gov.br/sisagua/paginaExterna.jsf>. Acessado em 05/07/2021.

MURTEIRA, B *et al*, (2007), **Introdução à Estatística**, 2ª edição, McGraw-Hill, Lisboa.

N.B. HALLAMA; J.R. WESTA, C.F.; FORSTERA, J.C.; POWELLB, I. SPENCERC. **The decay of chlorine associated with the pipe wall in water distribution systems**. Water Research. v.36, p.3479–3488. 2002.

NASCIMENTO, R.S.; CURTI, R. C.; CURTI, W. F.; OLIVEIRA, R.; SANTANA, C. F. D.; MEIRA. C. M. B. S. Artigo Científico/Técnico. **Simulação de alterações numa ETA convencional de porte médio para a produção de água segura**. Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, PB, Brasil. 2016.

NETO, M. M. J. **Estatística multivariada**. Revista de Filosofia e Ensino. 2004. Disponível em: [http://www.criticanarede.com/cien\\_estatistica.html](http://www.criticanarede.com/cien_estatistica.html). Acesso em 04/04/2021.

NEVES, L. P.; SANTOS, M. T. **Estudo do decaimento de cloro em sistemas de abastecimento de água: Caso de Estudo Águas da Azambuja**. Orientadora: Maria Tereza Loureiro dos Santos. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química e Biológica) – Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, 2016.

PEARSON, Karl, 1901. **On lines and planes of closest fit to systems of points in space**, *Philosophical Magazine*, Series 6, vol. 2, no. 11, pp. 559-572.

PEREIRA, J. C. R. **Análise de dados qualitativos: estratégias metodológicas para as ciências da saúde, humanas e sociais**. São Paulo: Edusp, 2001.

Portal do SNIRH – Sistema Nacional de Águas. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/agua-esgoto/agua-visao-estado?sigla=pb> Acessado em 27/05/2021.

Portal do SNIRH – Sistema Nacional de Águas. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/agua-esgoto/agua-visao-estado?sigla=pb> Acessado em 27/05/2021.

**Portaria GM/MS nº 888/2021**. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, **para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade**.

Portaria nº 518 de 25 de março de 2004. **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**. *Diário Oficial da União*. Brasília, DF, 26 de mar. Seção 1, 2004.

RAMOS, H.M.; LOUREIRO, D.; LOPES, A.; FERNANDES, C.; COVAS, D.; REIS, L.F.; CUNHA, M.C., 2010. **Evaluation of Chlorine Decay in Drinking Water Systems for Different Flow Con- ditions: From Theory to Practice**. *Water Resour. Manag.* 24, 815–834. doi:10.1007/s11269- 009-9472-8

RAYKOV, T. **Estimation of composite reliability for congeneric measures**. *Applies Psychological Measurement*, v. 21 p. 173-184, 1997.

REGAZZI, A. J. INF 766 - **Análise multivariada**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas. Departamento de Informática, 2001. 166p. Relatório da Gerencia Regional do Brejo – CAGEPA – Guarabira-PB. 2020.

RENCHER, A., (1995), **Methods of Multivariate Analysis**, Wiley, Canada.

RICHTER, C. A.; AZEVEDO NETTO, J. M. **Tratamento de água: tecnologia atualizada**. São Paulo: Blucher, 1991

RICHTER, C; NETTO, J. M. **Tratamento de água: tecnologia atualizada**. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 2001.

RODELLA, L. M. A. **Modelo de programação linear para apoio a decisão na distribuição de água de sistemas integrados de abastecimento**. Recife: O Autor, 2014. 93 folhas.

RODRIGUES, D. G. **Sistema Alternativo para Desinfecção da Água por Pasteurização Solar para Pequenas Comunidades**. 2018.Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2018.

RÜCKERT, F. Q. **O abastecimento de água na perspectiva da historiografia europeia e hispano-americana**. Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Brasil. 2016.

SALAMI, Fernanda Helena. **Determinação espectrofométrica de hipoclorito em alvejantes e cloro em águas de abastecimento empregando sistema em fluxo por multicamada e células convencional e de longo caminho óptico**. Fernanda Helena Salami -- São Carlos: UFSCar, 2008. 73 f.

SANTOS, Rubens Hayran Cabral Dos et al. **Simulação hídrica para o sistema de abastecimento de água da cidade de Guarabira/PB**. Anais II CONIDIS. Campina Grande: Realize Editora, 2017. Disponível em: <<https://www.editorarealize.com.br/index.php/artigo/visualizar/33862>>. Acessado em 27/08/2021.

SAWYER, C. N.; MCCARTY, P. L.; PARKIN, G. F. **Chemistry for environmental engineering and science**. 5 ed. New York: McGraw-Hill Higher Education, 2003. 768 p.

SILVA, Higo Braga da. **Rastreamento da água da rede de abastecimento da cidade de Guarabira -PB** / Higo Braga da Silva. -João Pessoa, 2020.

Simpósio de Pesquisa Operacional da Marinha. Rio de Janeiro: Brasil, 2006. Tema: **Gráfico de controle multivariado t2 de hotelling - instrumento de análise da qualidade numa**

**indústria de alumínio.** TAVARES, Edson Marcos Leal Soares; SOARES, Patrícia Silva.

Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos. Disponível em <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/41e22269-004a-4c5c-ae4-dee57d76d1b5/attachments/Paraba.pdf> . Acessado em 27/05/2021.

Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos. Disponível em: <fhttp://portal1.snirh.gov.br/arquivos/atlasrh2013/6-II-TEXTO.pdf>. Acesso em 5 de jun. 2019.

Site AESA-PB (2021) Aesa/PB 2021. Disponível em: <http://siegrh.aesa.pb.gov.br:8080/aesa-sig/>, acessado em 27/05/2021.

Site da Agencia Executiva de Gestão das Águas da Paraíba. Disponível em: [siegrh.aesa.pb.gov.br.8080/aesa-sig/](http://siegrh.aesa.pb.gov.br:8080/aesa-sig/). Acesso em 14 de março de 2020.

Site da Agencia Executiva de Gestão das Águas da Paraíba. Disponível em: [www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/](http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/). Acesso em 14 de março de 2020b.

Site da página do Governo do Estado da Paraíba. Disponível em:

Site da página Paraíba debate. Disponível em: <http://paraibadebate.com.br/camara-tem-uma-das-menores-recargas-de-agua-de-chuva-na-pb-nesta-segunda-1o/>>. Acesso em 5 de jun.

Site ManchetePB. Disponível em: <https://www.manchetepb.com/manutencao-em-estacao-de-tratamento-deixa-guarabira-aracagi-e-piloezinhos-sem-agua/>, acessado em 19/06/2021.

Site Orçamento Democrático Estadual – 2018. Disponível em: <https://ode8anos.com.br/obras/construc%CC%A7a%CC%83o-da-adutora-de-aracagi-a-guarabira/>. Acessado em 19/06/2021.

Site PBvale. Disponível em: <https://pbvale.com.br/politica/barragem-de-aracagi-comeca-sangrar-e-garante-seguranca-hidrica-veja-video/>. Acessado em 15/06/2021.

SOUZA, Alfredo B. K.; BONSE, R.; SILVA, W. V. **Avaliação do nível de segmentação dos serviços bancários com base em valores de tarifas para pessoas físicas.** 2005.

TABACHNICK, B. G.; FIDELL, L. S. **Using multivariate statistics.** California State University, Northridge. Seventh edition. 2007.

TIMM, N. H., (2002), **Applied Multivariate Analysis**, Springer, Nova Iorque.

TORMAN V.B.L.; COSTER R.; RIBOLDI J. **Normalidade de variáveis: métodos de verificação e comparação de alguns testes não-paramétricos por simulação.** Revista HCPA. 2012;32(2)

VICINI, Lorena. **Análise multivariada da teoria à prática** / Lorena Vicini ; orientador Adriano Mendonça Souza. - Santa Maria : UFSM, CCNE, , 2005. 215 p. : il.

VIEIRA P.; COELHO, S. T., (2003). **Practical Conditions for the use of a first order chlorine decay model in water supply.** Advances in Water Supply Management –

Maksimović, Butler & Memon (eds), Swets & Zeitlinger, Lisse, ISBN 90 5809 608 4, 405 - 414

VIEIRA, J. M. P. **Plano de segurança da água em mananciais de abastecimento de água para consumo humano**. Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 4. ed. Belo Horizonte: Editora da UFMG, 2014. 472 p.

WALKER, J. T.; MACKERNESS, C. W.; ROGERS, J.; KEEVIL, C. W. (1995). **“Heterogeneous Mosaic Biofilm – A Haven for Waterborne Pathogens”**. In: Microbial Biofilms, Series Editor J. M. Lynch, Press Syndicate of the University of Cambridge, New York, 196-204.