

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

ARY SÁ DE FIGUEIREDO

**QUALIDADE DA ÁGUA PARA O ABASTECIMENTO HUMANO NA CIDADE DE
CAÇAPAVA DO SUL - RS**

**Caçapava do Sul
2016**

ARY SÁ DE FIGUEIREDO

**QUALIDADE DA ÁGUA PARA O ABASTECIMENTO HUMANO NA CIDADE DE
CAÇAPAVA DO SUL - RS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Engenheiro Ambiental e Sanitarista.

Orientador: Prof. Dr. Pedro Daniel da Cunha Kemerich

Co-orientador: Prof. Dr. Ítalo Gonçalves

**Caçapava do Sul
2016**

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais).

F796q Figueiredo, Ary Sá de
QUALIDADE DA ÁGUA PARA O ABASTECIMENTO HUMANO NA CIDADE DE
CAÇAPAVA DO SUL - RS / Ary Sá de Figueiredo.
55 p.

Trabalho de Conclusão de Curso(Graduação)-- Universidade
Federal do Pampa, ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA, 2016.
"Orientação: Pedro Daniel da Cunha Kemerich".

1. Análise. 2. Potabilidade. 3. Precipitação. 4. Processo
de tratamento. I. Título.

QUALIDADE DA ÁGUA PARA O ABASTECIMENTO HUMANO NA CIDADE DE CAÇAPAVA DO SUL - RS

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia
Ambiental e Sanitária da Universidade
Federal do Pampa, como requisito parcial
para obtenção do Título de Engenheiro
Ambiental e Sanitarista.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 13 de dezembro de
2016.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Pedro Daniel da Cunha Kemerich
Orientador
UNIPAMPA

Prof. MSc. Mariana Ribeiro Santiago
UNIPAMPA

Prof. Dr^a. Cristiane Heredia Gomes
UNIPAMPA

Dedico este trabalho aos meus familiares e amigos que sempre torceram e acreditaram em mim. Especialmente ao meu filho Samuel.

AGRADECIMENTO

Ao Prof. Dr. Pedro Daniel da Cunha Kemerich pela orientação e pelo apoio para que eu realizasse o trabalho de conclusão de curso.

À banca avaliadora, por ter aceitado fazer parte desta etapa importante de minha vida.

Aos professores, minha gratidão pela forma como me trataram e colaboraram para que eu concluísse as tarefas propostas.

Às colegas e amigas Mayara Bitencourt e Milene Priebe, que por muitas vezes precisaram me incentivar nos momentos mais difíceis do curso.

À minha namorada Nicole Bartmer Alves, pela dedicação e paciência para comigo nas fases mais estressantes que passei na graduação.

Aos meus pais, que entenderam minha ausência em muitos momentos importantes.

Aos meus colegas de trabalho, por entender e colaborar com a minha necessidade de trocas de turno.

A todas as pessoas que, direta ou indiretamente contribuíram para a realização desta pesquisa.

RESUMO

O atual contexto mundial traz uma discussão bastante relevante sobre os temas poluição ambiental e a abundância da água no Planeta Terra. A distribuição geográfica dos recursos hídricos atinge níveis alarmantes e gera desconforto e preocupação na população. O presente estudo teve como objetivos comparar os resultados das análises de água bruta e tratada nos anos de 2006 a 2016. Verificar a eficiência do processo de tratamento convencional da água aplicado na cidade de Caçapava do Sul – RS e avaliar a sazonalidade na influência da qualidade da água bruta. Os dados foram obtidos na Estação de Tratamento de Água local da CORSAN. Foram digitadas 160.986 resultados de análises disponibilizados em controles laboratoriais preenchidos ao longo do período pesquisado. Estes dados foram digitados no Excel e compilados no programa *RStudio* para obter correlações existentes entre os diferentes parâmetros de controle exigidos pela legislação vigente. Os resultados mostraram que houve um planejamento eficiente no dimensionamento da ETA. Foram encontrados resultados satisfatórios. Também foi constatado que a sazonalidade influencia diretamente na qualidade da água bruta.

Palavras-chave: Análise. Potabilidade. Precipitação. Processo de tratamento.

ABSTRACT

The current global context brings a very relevant discussion on the issues of environmental pollution and the abundance of water on Planet Earth. The geographical distribution of water resources reaches alarming levels and generates discomfort and concern in the population. The present study had as objectives to compare the results of crude and treated water analysis in the years 2006 to 2016. To verify the efficiency of the conventional water treatment seasonality in the influence of the raw water quality. Data were obtained from the local Water Treatment Station of CORSAN. A total of 160,986 analysis results were entered in laboratory controls completed during the period studied. These data were typed in Excel and compiled into the RStudio program to obtain correlations between the different control parameters required by current legislation. The results showed that there was an efficient planning in the design of ETA. Satisfactory results were found. It was also observed that seasonality directly influences the quality of raw water.

Keywords: Analysis. Potability. Precipitance. Treatment process.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização da cidade de Caçapava do Sul-RS-Brasil	17
Figura 2 - Estação de Tratamento de Água	17
Figura 3 - Localização da barragem do Salso	18
Figura 4 - Localização da barragem da Fonte do Mato	19
Figura 5 - Mapa geral das estações	20
Figura 6 - Gráfico Volume de água tratada produzida X Ano	23
Figura 7 - Gráfico Eficiência de filtragem X Mês	25
Figura 8 - Gráfico Oxigênio dissolvido na água bruta X Mês	26
Figura 9 - Gráfico Média mensal de matéria orgânica ba água bruta X Média mensal da precipitação	27
Figura 10 - Gráfico Média mensal de cor na água bruta X Média mensal de precipitação	29
Figura 11 - Gráfico Média mensal de turbidez na água bruta X Média mensal de precipitação	30
Figura 12 - Gráfico Eficiência na remoção da cor X Ano	31
Figura 13 - Gráfico Eficiência de remoção da matéria orgânica X Ano	33
Figura 14 - Gráfico Eficiência de filtragem X Temperatura da água	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Cloro Residual Livre (CRL).	13
Tabela 2 - Doenças causadas pela falta de saneamento.....	15
Tabela 3 - Análises realizadas indicando a unidade dos resultados, tipo de água utilizada e periodicidade.....	21

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

CORSAN – Companhia Riograndense de Saneamento

CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

CRL – Cloro Residual Livre

ETA – Estação de Tratamento de Água

F⁻ - Íon Fluoreto

FUNASA – Fundação Nacional de Saúde

MO – Matéria Orgânica

MON – Matéria Orgânica Natural

MP – Material Particulado

MS – Ministério da Saúde

O.D. – Oxigênio Dissolvido

OMS – Organização Mundial de Saúde

ONU – Organização das Nações Unidas

PMG – Programa de Melhoria de Gestão

PVC - Policloreto de Polivinila

SANEPAR – Companhia de Saneamento do Paraná

VMP – Valor Máximo Permitido

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS E JUSTIFICATIVA	2
2.1 Objetivo Geral	2
2.2 Objetivos Específicos	2
2.3 Justificativa	2
3 REVISÃO DA LITERATURA	3
3.1 Etapas do Tratamento Convencional	3
3.1.1 Captação	3
3.1.2 Adução	4
3.1.3 Mistura rápida	4
3.1.4 Coagulação	4
3.1.5 Floculação	5
3.1.6 Decantação	5
3.1.7 Filtração	6
3.1.8 Desinfecção	6
3.1.9 Fluoretação	6
3.1.10 Distribuição	7
3.2 Análises do tratamento de água	7
3.2.1 Análises Físico-químicas	7
3.2.1.1 Ferro	7
3.2.1.2 Manganês	8
3.2.1.3 Alumínio Residual	8
3.2.1.4 Cor	8
3.2.1.5 Turbidez	9
3.2.1.6 pH	9
3.2.1.7 Alcalinidade	10
3.2.1.8 Dureza	10
3.2.1.9 Oxigênio Dissolvido (O.D.)	10
3.2.1.10 DBO_{5,20}	11
3.2.1.11 Matéria Orgânica	11
3.2.1.12 Fluoretos	11
3.2.1.13 Cloro Residual Livre	12

3.2.1.14 Odor.....	13
3.2.1.15 Gosto.....	13
3.2.2 Análises Bacteriológicas.....	13
3.2.2.1 Coliformes Totais.....	13
3.2.2.2 Coliforme Termotolerantes:.....	13
3.3 Problemas de saúde por falta de tratamento de água.....	14
4 METODOLOGIA.....	16
4.1 Área de estudo.....	16
4.2 Coleta de dados.....	22
4.3 Processamento dos dados.....	22
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	22
5.1 Variações temporais do volume de produção.....	23
5.2 Eficiência da filtragem durante os meses do ano.....	24
5.3 Variações mensais no oxigênio dissolvido na água bruta.....	25
5.4 Valores médios de matéria orgânica relacionados à precipitação mensal..	27
5.5 Média da cor da água bruta relacionada à precipitação mensal.....	28
5.6 Variação da turbidez de acordo com o volume de precipitação.....	29
5.7 Medida da eficiência de remoção da cor pela estação.....	30
5.8 Eficiência de remoção de MO anual.....	32
5.9 Eficiência da filtração em função da temperatura da água.....	34
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	35
REFERÊNCIAS.....	36

1 INTRODUÇÃO

A poluição ambiental é um assunto amplamente discutido no mundo. Tanto os países desenvolvidos quanto os em desenvolvimento estão sendo afetados devido ao aumento do crescimento econômico, que está associado à exploração dos recursos naturais. É possível exemplificar a preocupação mundial por meio da ONU, através de suas conferências de Estocolmo em 1972 e do Rio de Janeiro em 1992.

A escassez de água potável para o consumo nas grandes cidades agrava-se continuamente, como decorrência do crescimento progressivo da demanda e poluição das fontes de suprimento (LEME, 1990).

Outro fator a ser levado em conta quando se trata do assunto é a distribuição geográfica da água, onde 97% do volume total de água é salgada, 2% são geleiras inacessíveis e apenas 1% são águas de rios, lagos e fontes subterrâneas. Em vista deste quadro, faz-se cada vez mais necessário o “monitoramento e a avaliação da qualidade das águas superficiais e subterrâneas para a adequada gestão dos recursos hídricos” (TRINDADE *et al*, 2016).

Como dito anteriormente, as águas doces, que compreendem 1% do volume total de água disponível, estão organizadas em várias classes, de acordo com a resolução do CONAMA (Conselho Nacional de Meio Ambiente) 357/05, que determina a classificação das águas como Classe especial, Classe I, Classe II e Classe III.

A água para consumo humano sofre um ou vários processos de tratamento para obedecer a portaria 294/2011 do Ministério da Saúde, que além de caracterizar a água para consumo humano propriamente dito, estabelece um controle físico-químico e bacteriológico, e os tipos de análises e frequência a que deve ser submetida à água destinada para abastecimento humano.

Os efeitos prováveis decorrentes de um sistema de abastecimento de água são geralmente positivos, por constituir um serviço que assegura melhoria e bem-estar da população (CAIRNCROSS, 1984). No tocante ao serviço de abastecimento de água se, em um primeiro momento, a preocupação com a qualidade da água se relacionava com a forma que este serviço seria fornecido ao consumidor, se em quantidade e características adequadas, agora está prevalecendo “uma visão orientada também por princípios de sustentabilidade, na qual se preocupa assegurar

a sustentabilidade da prestação de serviços e a sustentabilidade ambiental” (VIEIRA, 2009).

Diante do exposto, surge a preocupação em como está, em termos de qualidade, a água que é utilizada para tratamento e posteriormente consumida pela população de Caçapava do Sul, município com cerca de 33 mil habitantes, localizado no Estado do Rio Grande do Sul, Brasil, distante 260 km da capital Porto Alegre, RS.

2 OBJETIVOS E JUSTIFICATIVA

2.1 Objetivo Geral

Comparar os resultados das análises de água bruta e água tratada nos anos de 2006 a 2016.

2.2 Objetivos Específicos

- a) Avaliar a qualidade da água bruta no período de 2006 a 2016;
- b) Verificar a eficiência do processo de tratamento convencional da água aplicado na cidade de Caçapava do Sul - RS;
- c) Avaliar a sazonalidade na influência da qualidade da água bruta;

2.3 Justificativa

O homem como ser heterotrófico, depende, para viver, de três elementos fundamentais: o alimento, o ar e a água (LEME, 1990).

É conseqüentemente a água o elemento vital que se encontra presente em proporções elevadas na constituição de todos os seres vivos, inclusive no homem, onde atinge cerca de 75% de seu peso e a sua influência tendo sido primordial na formação das aglomerações humanas (FUNASA, 2007).

O desenvolvimento urbano se acelerou na segunda metade do século XX com a concentração da população em espaço reduzido, produzindo grande competição pelos mesmos recursos naturais (solo e água), destruindo parte da biodiversidade

natural. O meio formado pelo ambiente natural e pela população (socioeconômico urbano) é um ser vivo e dinâmico que gera um conjunto de efeitos interligados, que sem controle pode levar a cidade ao caos (TUCCI, 2005).

Assim, a captação, o transporte e o armazenamento da água surgiram como consequência do aumento do consumo, resultante do desenvolvimento da comunidade, enquanto que o tratamento, embora incipiente, nasceu da repulsa do homem pelo aspecto estético da água e se desenvolveu em decorrência do crescimento da população.

O aumento do consumo criou grandes dificuldades e, no século XII, países como a França tiveram um baixo índice sanitário, em virtude do baixo consumo per capita (LEME, 1990). Pode-se dizer que a qualidade da água só se torna um tema relevante para a saúde pública no final do século XIX, início do século XX (FREITAS; FREITAS, 2005). No Brasil, a discussão para normatização da qualidade da água toma forma na década de 1970 (FREITAS; FREITAS, 2005) e vêm desde então sendo aprimorada, baseando-se em preceitos de órgãos como a OMS.

Em virtude do exposto, cabe salientar a importância em monitorar os mananciais, principalmente os que fazem parte dos centros urbanos, justificando assim a realização deste trabalho.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Etapas do Tratamento Convencional

3.1.1 Captação

A captação é a primeira etapa do processo de tratamento de água, pois consiste na retirada da água bruta através da utilização de bombas instaladas em estruturas conhecidas como “Casa de Bombas”. Para efeitos de projeto, é necessário um estudo prévio para assegurar que o manancial possua condições de fácil entrada de água em qualquer época do ano, o que favorece uma economia nas instalações. De acordo com Guimarães, Carvalho & Souza (2007) também deve-se levar em consideração o consumo atual de água potável para que a demanda do tratamento seja atendida.

3.1.2 Adução

A adução consiste no caminho percorrido pelo fluido até um destino final. As adutoras podem ser construídas com diversos materiais, porém os mais utilizados para transportar líquidos como a água são compostos por ferro, PVC e concreto (MARQUES; SOUSA, 2011).

3.1.3 Mistura rápida

Esta é uma das etapas mais importantes no tratamento de água. Nela a água bruta pode ser considerada uma solução coloidal devido à existência de partículas carregadas eletricamente que estão em equilíbrio no meio.

Nesta fase do processo se faz a adição de um coagulante. Na unidade de mistura rápida, ocorrem interações entre o coagulante e a água e formam-se espécies hidrolisadas, sendo geralmente necessária agitação intensa para que o processo de coagulação seja eficiente (DI BERNARDO E DANTAS, 2005).

3.1.4 Coagulação

O objetivo desse processo é a retirada de partículas orgânicas e inorgânicas que são responsáveis pela turvação, cor, presença de formas biológicas como bactérias, protozoários, fitoplâncton e vírus. Este processo é influenciado pela quantidade de Matéria Orgânica Natural (MON), Material Particulado (MP) e as propriedades físico-químicas da água.

Após a adição dos produtos químicos coagulantes, como sais de alumínio e ferro e/ou polímeros orgânicos ocorre a desestabilização de pequenas partículas suspensas e coloidais, a adsorção e/ou reação de porções de partículas de matéria orgânica natural dissolvida e coloidal e a formação de flocos que irão retirar da água os pequenos materiais suspensos, e os materiais dissolvidos quando estes se agregam aos flocos.

Como é considerada uma das etapas mais importantes no tratamento da água, a coagulação vem seguida dos processos de floculação e decantação. Como alertam Francisco, Pohlman e Ferreira (2011), a execução insatisfatória de alguma

destas etapas, que são realizadas em sequência, pode vir a afetar as demais, comprometendo a produção de água que cumpra as normas de potabilidade.

3.1.5 Floculação

No processo de floculação é necessário que o corpo d'água passe por uma agitação menos intensa. Isso ocorre na câmara de floculação, onde as partículas coloidais irão se chocar, formando partículas agregadas (flocos) até adquirirem maior densidade que a água. Esta é uma etapa importante, pois é neste processo que grande quantidade de bactérias são adsorvidas na camada superficial dos flocos, possibilitando assim sua retirada.

Segundo Vieira (2009) a finalidade “da floculação é a formação de partículas de dimensões e densidade adequadas para que sedimentem nos decantadores, flutuem nas câmaras de flutuação e/ou sejam retidas nos filtros situados a jusante na linha de tratamento”.

3.1.6 Decantação

Etapa subsequente à floculação, em que os flocos sedimentam no fundo de um tanque (decantador), esse processo tem como objetivo a redução da velocidade do corpo d'água para proporcionar tempo suficiente para a deposição dos flocos no fundo do leito, uma vez que, estando mais densos que a água, tendem a precipitar removendo o excesso de impurezas, e assim permitir que uma menor quantidade de partículas chegue ao filtro.

De acordo com Vieira:

A decantação é um processo de separação sólido-líquido que tem como objetivo a remoção da matéria em suspensão na água por sedimentação dos flocos naturalmente presentes na água ou formados na floculação ou de partículas individuais não floculadas, mas que possuem maior sedimentabilidade (VIEIRA, 2009).

3.1.7 Filtração

Etapa seguinte ao processo de decantação. É considerado o “processo final de remoção de impurezas” (FRANCISCO; POHLMAN; FERREIRA; 2011). Busca-se

com a filtração remover os sólidos que não foram retidos na decantação, além de “coagulante residual, micro-organismos e outros contaminantes que estejam adsorvidos às partículas” (VIEIRA, 2009).

Nesta fase, a água, após ter os flocos decantados, passa por um filtro constituído por areia, brita e antracito. A brita é a fração de sustentação das camadas de areia e antracito, que são depositadas sobre ela. Logo acima da brita, está depositada uma camada de areia. Sobre a areia está o antracito, substância derivada do carvão, composta basicamente de carbono e com uma importante característica, a irregularidade dos grãos. Devido a esta importante propriedade ele não se compacta, mantendo espaços vazios entre os seixos que permitem a passagem da água e a retenção dos flocos que não tiveram tamanho suficiente para decantar.

3.1.8 Desinfecção

O processo de desinfecção é realizado com a adição de gás cloro para eliminação de micro-organismos patogênicos. De acordo com Ferreira Filho e Sakaguti (2008) o cloro tem sido o agente oxidante mais utilizado no tratamento de água. Este processo apresenta grande eficiência devido a possibilidade de garantir um residual padronizado. E este, por sua vez, deve ser verificado no final da rede, devendo atender à concentrações de acordo com a legislação vigente.

Segundo Meyer (1994), além da utilização do cloro para fins de desinfecção, pode-se também fazer uso dele com objetivo da oxidação dos compostos presentes na água, alterando assim suas características.

3.1.9 Fluoretação

A fluoretação consiste na adição de compostos de flúor para prevenção de cárie dentária. No Brasil, desde 1974 é obrigatória a fluoretação da água de abastecimento público, sendo considerada uma importante ação na área de saúde pública devido a “sua segurança, efetividade, facilidade de administração, baixo custo e sua abrangência populacional” (RAMIRES; BUZALAF, 2007, p. 1061).

3.1.10 Distribuição

Trata-se do processo de envio da água tratada para as redes de distribuição e reservatórios de armazenamento. Em muitos casos, esta etapa pode ser precedida pelo armazenamento em reservatórios enterrados que possuam volume suficiente para suprir as necessidades do sistema (MORAES; BORJA; TOSTA, 1999).

3.2 Análises do tratamento de água

3.2.1 Análises Físico-químicas

3.2.1.1 Ferro

O ferro ocorre em águas naturais, quase sempre em conjunto com manganês, oriundo da dissolução de compostos ferrosos de solos arenosos, terrenos de aluvião ou pântanos. Nestes tipos de solo, quando a matéria orgânica decompõe-se, produz gás carbônico que solubiliza compostos de ferro, bem como os de manganês. Portanto, o ferro é encontrado com frequência em poços, galerias de captação e represas, na forma solúvel coloidal, complexado com substâncias orgânicas e inorgânicas ou em suspensão.

Ainda que a recomendação diária de ferro para o organismo humano seja de até 19 mg por dia, para atender os padrões de potabilidade é imposto um limite para a quantidade de ferro na água de abastecimento público, visto que este metal em teores elevados pode causar alterações estéticas e conferir um sabor ruim à água (BRITO NETA; LEAL; REIS, 2013).

O valor máximo permitido (VMP) para o ferro foi fixado em 0,3 mg.L⁻¹ de Fe⁺⁺ (Portaria 2914/11 MS).

3.2.1.2 Manganês

A presença de metais em águas de abastecimento, águas residuárias domésticas e industriais, e em coleções de águas receptoras é uma preocupação constante, dada às propriedades tóxicas destes materiais. Eles afetam os consumidores, os sistemas de tratamento de águas residuárias e o sistema biológico de águas brutas (FREITAS; BRILHANTE; ALMEIDA, 2001).

O valor máximo permitido (VMP) para o manganês pela Portaria MS 2914/11 foi fixado em $0,1 \text{ mg.L}^{-1}$ de Mn.

3.2.1.3 Alumínio Residual

O íon alumínio aparece nas águas de abastecimento e residuárias como resultante da utilização do sulfato de alumínio - $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ como coagulante.

O excesso de íons Al^{3+} na água tratada pode revelar uma dosagem inadequada de coagulante, ou ainda, a passagem de flocos através dos filtros devido as retrações junto às paredes, fendas no leito ou lavagem incorreta. Com a correção do pH esses flocos solubilizam. A presença excessiva de alumínio pode provocar precipitações e consequente elevação da turbidez e incrustações nas redes de distribuição (HANTSCHERL, 2004).

A determinação do alumínio residual é um grande auxiliar na escolha da dosagem conveniente, ótima ou econômica quando se emprega coagulante à base de alumínio. Experiências realizadas demonstram que o hidróxido de alumínio (foco), à medida que o pH do meio se afasta de 6,2 para ambos os lados, aumenta sua solubilidade. A ausência de alumínio residual na água tratada indica boa operação da estação (FRANCO, 2009).

O VMP para o alumínio foi fixado em $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$ de Al^{3+} (Portaria MS 2914/11).

3.2.1.4 Cor

A cor da água natural é devida a existência de substâncias em solução, na grande maioria dos casos de natureza orgânica (húmus), e/ou pela presença de partículas coloridas finamente divididas e dispersas na água (colóides e suspensões finas).

A cor da água pode ser classificada em cor aparente e verdadeira. A cor verdadeira se refere à determinação das amostras sem turbidez e a aparente refere-se a determinação de amostras de água com turbidez (material coloidal ou em suspensão) (RICHTER, 2009).

A remoção da cor tem por finalidade tornar a água adequada para aplicações gerais e industriais (LIMA, 2007).

A cor da água potável é considerada entre os fatores psicológicos ou estéticos, porque uma água corada não é bem aceita pelo consumidor (GNADLINGER, 2007).

O VMP na água tratada pela Portaria 2914/11 MS é de 15 mg.L^{-1} Pt-Co.

3.2.1.5 Turbidez

A turbidez é causada pela presença de partículas, orgânicas ou inorgânicas, em suspensão ou em estado coloidal. Estas partículas absorvem e refletem a luz incidente. No caso de solução verdadeira não se observa turbidez porque as partículas são muito pequenas e não há espalhamento da luz. Portanto, turbidez é uma característica física, onde a luz é dispersada e absorvida em vez de transmitida em linha reta através da amostra (TOMAZONI et al, 2005).

Na saída do tratamento (tratada) e em qualquer ponto da rede de distribuição o VMP é de 5,0 UT (Portaria 2914/11).

O limite máximo para qualquer amostra pontual de água filtrada ou pré desinfecção para a turbidez é de 1,0 UT (filtração rápida), 2,0 UT (filtração lenta – mananciais superficiais) e de 5,0 UT (águas subterrâneas).

3.2.1.6 pH

É o parâmetro que indica se uma solução é ácida, básica ou neutra. O pH é representado por uma escala numérica que varia de 0 a 14, onde 7 é o pH neutro, os números abaixo de 7 representam o pH ácido e os números acima de 7 o pH básico.

O pH em abastecimento de água é significativo, porque afeta o processo de tratamento de água e pode contribuir para a corrosão das estruturas das instalações hidráulicas e do sistema de distribuição. (SILVA NETO, 2013).

A faixa de pH recomendado pela Portaria 2914/11 é de 6,0 a 9,5.

3.2.1.7 Alcalinidade

A alcalinidade é uma propriedade da água que permite a neutralização ou a redução de suas características ácidas. Esta propriedade é devida à presença de hidróxidos (OH^-), bicarbonatos (HCO_3^-) ou carbonatos (CO_3^{2-}). Seu controle tem grande importância em vários problemas tais como, processos de coagulação, abrandamento e fenômenos de corrosão (VON SPERLING, 1995).

3.2.1.8 Dureza

É a capacidade da água em precipitar sabões (CELLIGOI, 1999).

- **Dureza total:** É a concentração total de Cálcio e Magnésio expressa em CaCO_3 .
- **Dureza de Carbonatos:** Também chamada de Dureza Temporária, é a porção da dureza total que é quimicamente igual à alcalinidade de carbonatos e bicarbonatos, podendo ser removida por ebulição.
- **Dureza de Não Carbonatos:** Também chamada de Dureza Permanente é a porção da dureza total devida aos sulfatos, cloretos e nitratos de Cálcio e Magnésio.

O Valor Máximo Permitido (VMP) para a dureza pela Portaria 2914/11 MS é 500 mg.L^{-1} de CaCO_3 .

3.2.1.9 Oxigênio Dissolvido (O.D.)

O oxigênio dissolvido provém de duas fontes principais: atmosfera e assimilação fotossintética. Sua concentração nas águas naturais depende das atividades físicas, químicas e biológicas.

A camada superficial da água, em contato com o ar, dissolve oxigênio em quantidades que dependem da pressão e da temperatura. Pelo processo da fotossíntese a água recebe quantidades consideráveis de oxigênio das plantas aquáticas.

O oxigênio dissolvido contribui para a autodepuração dos mananciais, e é um fator importante no fenômeno da corrosão das canalizações de ferro e outros metais. Esta corrosão pode ocorrer em pH que varia de 5,0 a 9,2, sendo que o pH baixo acelera a ação corrosiva e o pH alto retarda, mas não inibe. Esta ação é acentuada pela presença de CO₂ (GARCIA, 1997).

Águas bem oxigenadas se apresentam muito agradáveis ao paladar.

A desoxigenação ocorre em águas altamente poluídas, em pontos mortos ou em seções estranguladas de redes. A diminuição ou ausência de O₂ indica uma água de má qualidade (BATALHA; ROCHA, 1986).

3.2.1.10 DBO_{5,20}

A determinação da DBO_{5,20} indica a quantidade de oxigênio que foi consumido, num espaço de tempo determinado (5 dias), em decorrência da atuação de bactérias e outros organismos sobre a matéria orgânica. Assim deduz-se que, quanto mais alto a DBO_{5,20}, pior a qualidade da água (VALENTE; PADILHA; SILVA, 1997).

3.2.1.11 Matéria Orgânica

A determinação da Matéria Orgânica permite avaliar a quantidade de matéria passível de ser oxidada por um agente químico oxidante. O material oxidado pode ser de origem orgânica proveniente de despejos industriais e cloacais, excremento de animais e vegetais em decomposição (RAIJ, 1969).

3.2.1.12 Fluoretos

Os compostos de flúor são encontrados geralmente em quantidades maiores nas águas subterrâneas, do que nas superficiais. A solubilidade do fluoreto e a

quantidade em que este se encontra na água dependem da natureza, da formação rochosa, da velocidade da água e da temperatura local.

A introdução de íons fluoretos em águas cuja concentração de flúor natural é muito pequena, ou não existe, tem a finalidade de prevenir a cárie dentária. Tal atuação deve-se ao fato de aumentar a resistência do dente à dissolução, de diminuir a aderência da placa dental e promover uma repulsão eletrostática com as bactérias do meio bucal (BASTING; PEREIRA; MENEGHIN, 1997).

A determinação de fluoretos é realizada para controlar o teor de flúor nas águas que se destinam ao abastecimento público.

O VMP na água para consumo humano pela Portaria 2914/11 do Ministério da Saúde é de $1,5 \text{ mg.L}^{-1}$ de F^- .

A Portaria 10/99 da Secretaria Estadual de Saúde considerada dentro do padrão de potabilidade as águas que apresentarem a concentração de íon fluoreto dentro da faixa de $0,6$ a $0,9 \text{ mg.L}^{-1}$.

3.2.1.13 Cloro Residual Livre

Uma quantidade suficiente de cloro deve ser adicionada para se obter correta desinfecção, assegurando a destruição da vida bacteriana. Esta quantidade deverá ser tal que, após o equilíbrio da relação "cloro - matéria orgânica oxidável", o excedente é chamado cloro residual. A permanência deste residual indica que as reações químicas e biológicas foram completadas (REBELO et al, 2004).

A determinação de um residual de cloro é efetivamente uma das mais importantes análises no controle de qualidade de uma água.

A existência de um residual na água distribuída para a população é garantia de qualidade contra eventuais contaminações posteriores, que possam vir a desestabilizar o equilíbrio "cloro - matéria orgânica".

A Tabela 1 apresenta os valores permitidos pela Portaria 2914/2011 em função do parâmetro de Cloro Residual Livre, em água tratada para abastecimento humano.

Tabela 1 - Cloro Residual Livre (CRL).

Ponto de coleta	Exigência e recomendação	Valor mg.L⁻¹ CRL	Artigo
Saída do sistema	Mínimo Legal *	0,4	Anexo IV
Qualquer ponto da rede	Mínimo Legal	0,2	Artigo 34
Qualquer ponto da rede	Máximo recomendado	2,0	Artigo 39. § 2
Qualquer ponto da rede	Máximo legal	5,0	Anexo VII

Fonte: Portaria 2914/2011.

3.2.1.14 Odor

Esta análise tem por objetivo diagnosticar se a água tratada apresenta algum odor significativo que não permita sua ingestão (VALENTE; PADILHA; SILVA, 1997).

3.2.1.15 Gosto

Esta análise tem por objetivo diagnosticar se a água tratada apresenta algum gosto significativo que não permita sua ingestão (PEDROSA, 2014).

3.2.2 Análises Bacteriológicas

3.2.2.1 Coliformes Totais

Esta análise tem por objetivo detectar a presença ou ausência de coliformes totais presentes na água. De acordo com a Portaria 2914/2011, até 20% das amostras de rede podem apresentar resultado positivo, porém, devem ser realizadas coletas à jusante, à montante e no ponto no dia posterior ao resultado (OLIVEIRA; TERRA, 2004).

3.2.2.2 Coliforme Termotolerantes:

Esta análise tem por objetivo detectar a presença ou ausência de coliformes termotolerantes, especificamente *Escherichia Coli*, bactéria que normalmente habita os intestinos dos seres vivos (SILVA; ARAUJO, 2003).

A Portaria 2914 determina que em água tratada é necessário 100% de ausência para cada 100 mL de amostra

3.3 Problemas de saúde por falta de tratamento de água

Os países em desenvolvimento, entre os quais o Brasil, entraram no terceiro milênio ressuscitando patologias do início do século XX. A ausência de serviços de saneamento tem resultado em precárias condições de saúde de uma parte significativa da população brasileira, com a incidência de doenças, destacando-se as de veiculação hídrica, tais como diarreias, hepatite, cólera, parasitoses intestinais, febre tifóide, e outras, conforme Tabela 2 (GUILHERMINO & TEIXEIRA, 2006).

Tabela 2 - Doenças causadas pela falta de saneamento.

TRANSMISSÃO	DOENÇA	AGENTE PATOGENICO	MEDIDA
Pela água	Cólera Febre Tifóide Giardíase Amebíase Hepatite Infecciosa Diarréia Aguda	<i>Hepatite vírus A e E;</i> <i>Balantidium coli, Cryptosporidium,</i> e enteropatógena, enterohemolítica, Shigella, Yersinia enterocolitica, Astrovírus, Calicivírus, Norwalk, Rotavírus A e B	- Implantar sistema de abastecimento e tratamento de água, com fornecimento em quantidade e qualidade para consumo humano e coletivo - Proteger de contaminação os mananciais e fontes de água;
Pela falta de limpeza, higienização com a água	Escabiose Pediculose (piolho) Tracoma Conjuntivite bacteriana aguda Salmoneiose Tricuríase Enterobiase ancilostomíase Ascaridíase	<i>Sarcoptes scabiti;</i> <i>Pediculus humanus;</i> <i>Clamidia trachomatis;</i> <i>Haemophilus aegyptius;</i> <i>Salmonella typhimurium, S. enteritides;</i> <i>Trichuris trichiura;</i> <i>Enterobius vermiculares;</i> <i>Ancylostoma duodenale;</i> <i>Ascaris lumbricoides;</i>	- Implantar sistema adequado de esgotamento sanitário preferencialmente com encanamento no domicílio - Instalar melhorias sanitárias domiciliares e coletivas; - Instalar reservatório de água adequado com limpeza sistemática (a cada seis meses)
Por vetores que se relacionam com a água	Malária Dengue Febre amarela Filariose	<i>Plasmodium vivax, P. malarie e P. falciparum;</i> <i>Grupo B dos arborivirus;</i> <i>RNA vírus;</i> <i>Wuchereria bancroft;</i>	- Eliminar o aparecimento de criadouros de vetores com inspeção sistemática e medidas de controle (drenagem, aterro e outros); - Dar destinação final adequada aos resíduos sólidos;
Associada à água	Esquistossomose Leptospirose	<i>Shistosoma mansoni;</i> <i>Leptospira interrogans;</i>	- Controlar vetores e hospedeiros intermediários.

Fonte: Adaptado de Guimarães, Carvalho & Silva (2007).

Segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS), saneamento é o controle de todos os fatores do meio físico do homem, que exercem ou podem exercer efeitos nocivos sobre o bem estar físico, mental e social. De outra forma, pode-se dizer que saneamento caracteriza o conjunto de ações socioeconômicas que tem por objetivo alcançar salubridade ambiental. Entende-se ainda, como salubridade ambiental o estado de higidez (estado de saúde normal) em que vive a população urbana e rural, tanto no que se refere a sua capacidade de inibir, prevenir ou impedir a ocorrência de endemias ou epidemias veiculadas pelo meio ambiente, como no tocante ao seu potencial de promover o aperfeiçoamento de condições mesológicas (que diz respeito ao clima e/ou ambiente) favoráveis ao pleno gozo de saúde e bem-estar (ROOCK & RIBEIRO, 2010).

4 METODOLOGIA

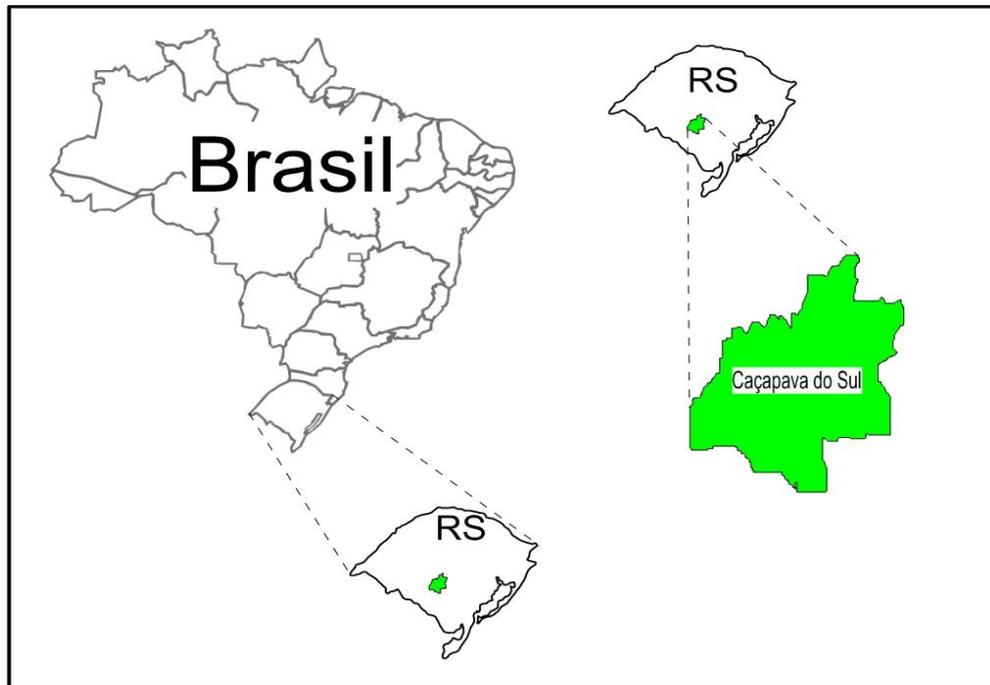
4.1 Área de estudo

A cidade de Caçapava do Sul possui uma população de aproximadamente 33.000 habitantes e está localizada no centro do estado do Rio Grande do Sul (Figura 1), na latitude 30°30'44" S e longitude 53°29'29" O, com altitude de 450 metros acima do nível médio do mar, abrangendo uma área de 3.047,1 Km² e com população de 33 650 habitantes (IBGE 2010).

Diante da necessidade de tratar água para atender a população caçapavana, a prefeitura municipal cedeu, em modelo de concessão, à CORSAN, todo o sistema de captação, tratamento e distribuição de água tratada em meados do ano de 1986.

A CORSAN possui uma ETA, pertencente à Unidade de Saneamento 028 (Figura 2), situada na rua XV de Novembro, no centro da cidade, contendo aproximadamente 4200 m² sendo responsável pelo tratamento, análise e distribuição da água utilizada no abastecimento além de um escritório da unidade de saneamento situado na rua XV de novembro, nº 703, centro.

Figura 1 - Localização da Cidade de Caçapava do Sul – RS – Brasil.



Fonte: Autor.

Figura 2- Estação de Tratamento de Água



Fonte: Adaptado do Google Earth Pró (2016).

A captação de água bruta destinada ao tratamento ocorre em dois locais diferentes. A barragem do Salso situada à 6,3 Km da ETA (Figura 3), responsável por 60% da água bruta do tratamento

Figura 3 - Localização da Barragem do Salso.



Fonte: Adaptado do Google Earth Pró (2016).

Além da Barragem do Salso, para completar o volume a ser tratado, existe a captação na barragem da Fonte do Mato (Figura 4), situada à aproximadamente 2,5 km da ETA que complementa a vazão utilizada para o tratamento.

Figura 4 - Localização da Barragem da Fonte do Mato.



Fonte: Adaptado do Google Earth Pró (2016).

Ainda é possível mostrar no mapa (Figura 5) uma visão geral das estações de recalque e de tratamento de água.

Para que a água bruta chegue à ETA, é utilizado um sistema de adução bem dimensionado para atender a demanda do tratamento, somando cerca de 6,3 Km de tubulações mistas de PVC e ferro, com diâmetro nominal de 250 mm e 300 mm.

As barragens do Salso e da Fonte do Mato estão classificadas em Classe II, classificação CONAMA 357/05 na qual se faz necessário um tratamento convencional para que a água tratada atenda aos padrões de potabilidade da portaria 2914/2011.

A legislação brasileira exige que algumas etapas e resultados de análises do tratamento convencional estejam em conformidade com a portaria 2914/2011 MS. Portanto, a ETA em estudo obedece as frequências estipuladas por tal portaria, conforme a Tabela 3.

Figura 5 - Mapa geral das estações.



Fonte: Adaptado do Google Earth Pró (2016).

A produção diária da ETA é de aproximadamente 5.500 m³ d'água tratada, que é recalca para 4 reservatórios, sendo eles: Reservatório Santos Dumont, com capacidade de 250 m³; Reservatório do Forte, com capacidade de 500 m³; Elevado da ETA, com capacidade de 250 m³; Enterrado da ETA, com capacidade de 700m³.

Estes reservatórios, por meio de gravidade, recebem água do recalque 3 instalado na ETA e garantem o abastecimento de cerca de 12.000 economias.

Tabela 3 - Análises realizadas indicando a unidade dos resultados, tipo de água utilizada e periodicidade.

PARÂMETRO	UNIDADE	Água Bruta				Água Floculada				Água Decantada				Água Filtrada				Água Tratada			
		Frequência				Frequência				Frequência				Frequência				Frequência			
		H	D	S	M	H	D	S	M	H	2D	S	M	H	D	S	M	H	D	S	M
Ferro	mg.L ⁻¹			X																X	
Manganês	mg.L ⁻¹			X																X	
Alumínio Residual	mg.L ⁻¹					X								X					X		
Cor	mg.L ⁻¹ Pt-Co		X															X			
Turbidez	uT ou NTU	X				X				X				X				X			
pH	mg.L ⁻¹	X				X												X			
Alcalinidade	mg.L ⁻¹		X																X		
Dureza Total	mg.L ⁻¹			X																X	
Oxigênio Dissolvido	mg.L ⁻¹			X																X	
DBO5,20	mg.L ⁻¹			X																X	
Matéria Orgânica	mg.L ⁻¹		X											X					X		
Flúor	mg.L ⁻¹																	X			
Cloro Residual Livre	mg.L ⁻¹									X								X			
Odor	mg.L ⁻¹	X																X			
Gosto	mg.L ⁻¹																	X			

H = a cada hora de operação; D = uma vez ao dia; S = uma vez por semana; M = uma vez ao mês; 2D = duas vezes ao dia.

Fonte: Autor.

4.2 Coleta de dados

A pesquisa foi realizada na ETA de Caçapava do Sul – RS com base nos dados dos controles laboratoriais preenchidos ao longo dos anos de 2006 a 2016, que indicam os resultados dos parâmetros analisados da água bruta, água floculada, água decantada, água filtrada, água tratada.

Os dados foram disponibilizados pela companhia, na própria estação, com acesso aos arquivos mortos.

Os dados pluviométricos foram obtidos junto à CPRM, para verificar se a chuva influenciou em algum resultado das análises entre diferentes amostras de água.

4.3 Processamento dos dados

Durante o período de pesquisa, os resultados das 160.986 análises foram digitados em planilha eletrônica Excel versão 2016, agrupados ano a ano, mês a mês e dia a dia, por análise, e também de acordo com a sazonalidade. Foram considerados meses quentes (outubro a março) e meses frios (abril a setembro).

Após o agrupamento dos resultados, foi utilizado o programa *RStudio Desktop 1.0.44* para elaborar os 9 gráficos com as correlações que demonstraram a eficiência da estação.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O sistema de tratamento foi preparado em projetos e construído para atender a demanda da cidade pelo período de 25 anos, independente da época do ano, inverno ou verão.

Durante o estudo, foi observado que houve preocupação da área de engenharia com a qualidade da água tratada distribuída para atender os parâmetros estipulados pela legislação vigente.

Não foram encontradas quaisquer análises bacteriológicas fora do padrão estabelecido pela Portaria 2914/2011 MS. Porém, cabe salientar que houveram algumas alterações na qualidade da água bruta. Os dados demonstraram que

existem picos de formação de colônias de bactérias termotolerantes no período de verão, mas como a Barragem da Fonte do Mato está localizada próxima ao grande centro, e a precipitação diminuiu durante este período, existindo a possibilidade de haver lançamento clandestino de efluentes biológicos próximo à captação.

Os resultados das análises de cloro atendem ao padrão de potabilidade determinado pela Portaria 2914/2011 em todo período avaliado. Apenas uma amostra de água tratada teve seu resultado abaixo de $0,40 \text{ mg.L}^{-1}$. Foi constatado que existe um controle local de conscientização do operador da ETA, para que as dosagens sejam suficientes para que o CRL na rede de distribuição não seja menor que $0,20 \text{ mg.L}^{-1}$.

5.1 Variações temporais do volume de produção

Segundo Vercelli (2005), a quota per capita para uma pequena localidade, com população entre 10.000 e 50.000 hab. varia entre 110 e $180 \text{ L.hab}^{-1}\text{d}^{-1}$.

A ETA de Caçapava do Sul produziu cerca de $5.500 \text{ m}^3.\text{d}^{-1}$, totalizando $183,3 \text{ L.hab}^{-1}.\text{d}^{-1}$, ou seja, acima da média nos anos de 2006 a 2009 no período em que há tendência do aumento da produção. Segundo a Companhia de Saneamento do Paraná, os meses de calor geram um aumento no consumo diário de água e conseqüentemente aumenta produção de água tratada em 20%.

Nos meses de inverno, a produção da ETA fica dentro da média esperada, com aproximadamente $5.000 \text{ m}^3.\text{d}^{-1}$, correspondente a $160 \text{ L.hab}^{-1}\text{d}^{-1}$ no período de 2006 a 2009.

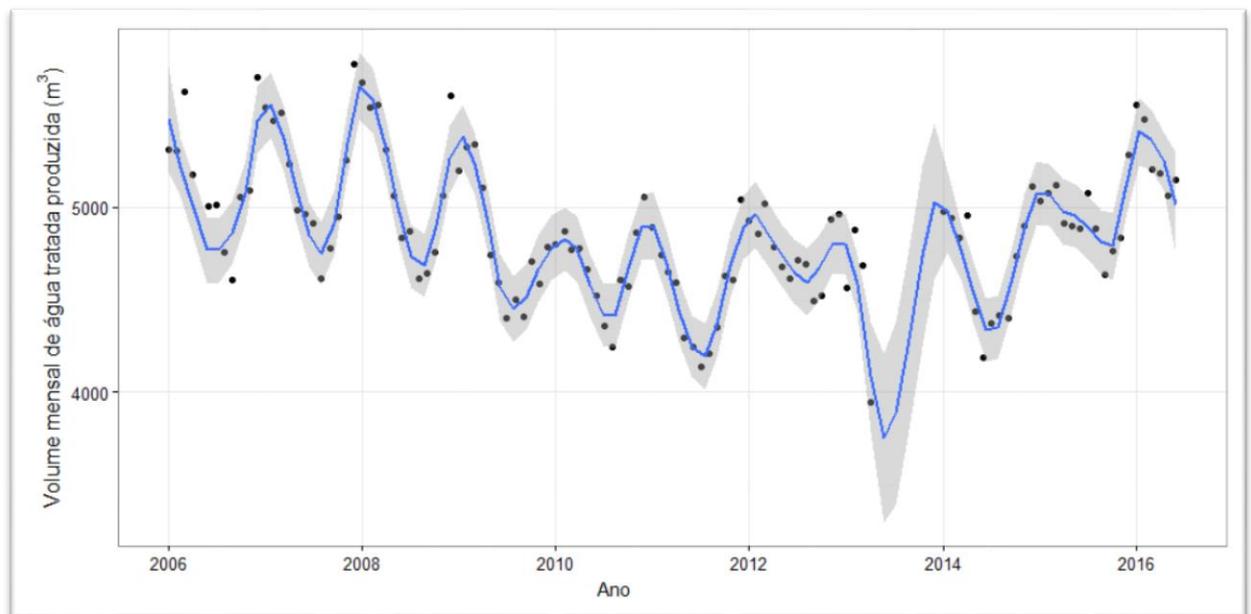
Também foi observado que a partir do ano de 2010, houve um decréscimo na produção, tanto nos meses de calor quanto nos meses de frio. Tal fato foi verificado nos arquivos da empresa e observou-se que houve uma mudança na gestão, foi implantada uma nova fase do PMG. A partir de então, todas as ligações de água passaram a ser micromedidas. Com esta medida, é possível afirmar que o hidrômetro ajuda o usuário a controlar o consumo de água (SABESP, 2014).

Durante o ano de 2013, não foram encontrados dados de macromedição, apenas médias diárias para cálculos de consumo de produtos químicos. Houve uma falha no equipamento de macromedição, que foi substituído no ano de 2014.

O consumo de água está aumentando, de acordo com a tendência da curva, fato que está relacionado ao aumento do número de ligações de água e também às constantes manutenções caracterizadas por Heller (2013) como perdas físicas ou reais, que são operações de descargas nas redes de distribuição e limpeza de reservatórios.

A Figura 6 demonstra o volume de água tratada produzida durante os anos de 2006 a 2016.

Figura 6 – Volume de água tratada produzida X ano.



Fonte: Autor

5.2 Eficiência de filtração durante os meses do ano

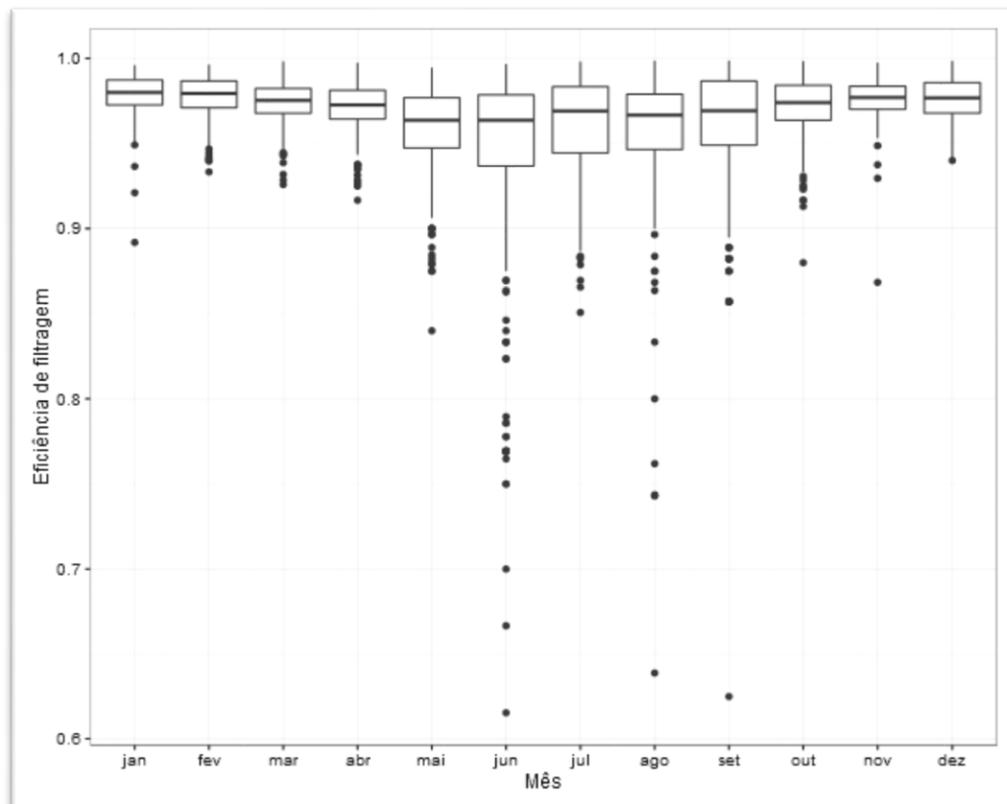
A ETA possui uma eficiência na taxa de filtração maior que 90% durante os 10 anos estudados. A determinação deste indicador de referência para o processo de tratamento de água é uma importante medida para o monitoramento da qualidade do processo realizado, o que permite eventuais correções nas etapas anteriores do processo de tratamento. De acordo com Francisco, Pohlman e Ferreira (2011) “o controle rigoroso dos fatores que influenciam na eficiência da ETA permite que as condições ótimas para cada etapa sejam mantidas, resultando em uma água com maior qualidade”.

Em meses mais frios, com altos índices de precipitação, observados na Figura 7, nos meses de junho e agosto houve uma maior distribuição do rendimento da taxa de filtração. Neste ponto deve-se observar que a estação teve tempo para reagir aos ajustes de dosagem devido à mudança na qualidade da água bruta.

Segundo Vieira (2009) há de se considerar que turvações mais altas originadas por fortes precipitações são mais fáceis de remover do que turvações mais baixas.

Seria de esperar que o menor desempenho estivesse associado aos valores de menor turvação. No entanto, os ajustes nas dosagens foram realizados a cada alteração na qualidade da água bruta, fato este que gerou uma maior distribuição entre o primeiro e o terceiro quartis.

Figura 7 – Eficiência de filtração X Mês.



Fonte: Autor.

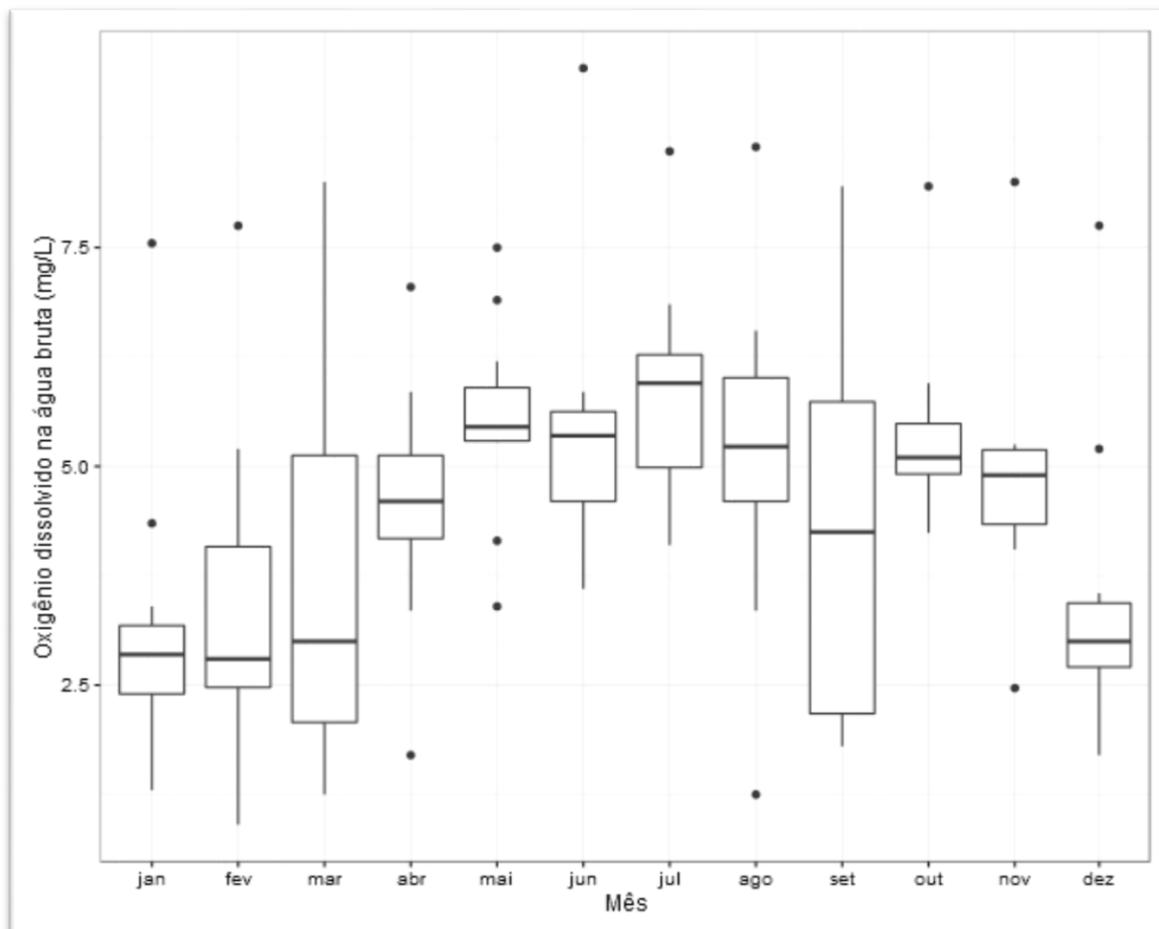
5.3 Variações mensais no oxigênio dissolvido na água bruta

A distribuição de oxigênio em um curso d'água se dá em função da temperatura, da agitação das águas, da natureza e abundância de organismos que nelas vivem (seres clorofilados), reoxigenação fotossintética, da velocidade de deslocamento da água, profundidade, acidentes topográficos, ação dos ventos, intensidade luminosa e entrada de oxigênio dissolvido contribuinte de outros afluentes. De acordo com Quege (2005) a agitação da água acarreta equilibra as diferenças de temperatura em toda a espessura do corpo d'água, e este movimento gera um aumento do teor de oxigênio dissolvido.

Nos meses de inverno, de acordo com a Figura 8, as taxas de oxigênio dissolvido ultrapassaram $5,0 \text{ mg.L}^{-1}$, acompanhadas da maior taxa de precipitação nos referidos meses. Porém, a DBO verificada não atingiu o limite estipulado pela Resolução CONAMA 357/05 o valor de $5,0 \text{ mg.L}^{-1}$ em nenhum dia durante os 10 anos estudados, mantendo a classificação como água doce, classe II.

A barragem da Fonte do Mato possui muita vegetação em sua superfície, impedindo que os raios luminosos atinjam profundamente o curso d'água. De acordo com a empresa são vegetais aquáticos da espécie *Eichornia crassipes*, popularmente conhecidas como aguapés. Devido à falta de luminosidade e altas temperaturas durante os meses de verão, houve um decréscimo nos valores de Oxigênio dissolvido, sendo necessário realizar análise com diluição de 50%, mas a DBO5 manteve-se abaixo de $5,0 \text{ mg.L}^{-1}$.

Figura 8 – Oxigênio dissolvido na água bruta X Mês.



Fonte: Autor.

5.4 Valores médios de matéria orgânica relacionados à precipitação mensal

De acordo com a CETESB (2006):

A matéria orgânica é todo o material de origem vegetal ou animal produzido no próprio ambiente aquático (autóctone) ou introduzido nele por meio de despejos ou carreamento, ou seja, pelo arraste por água de chuva (alóctone) (CETESB, 2006).

Este dado vem ao encontro dos valores obtidos na Figura 9, pois o aumento da precipitação é acompanhado pelo aumento da MO na barragem estudada.

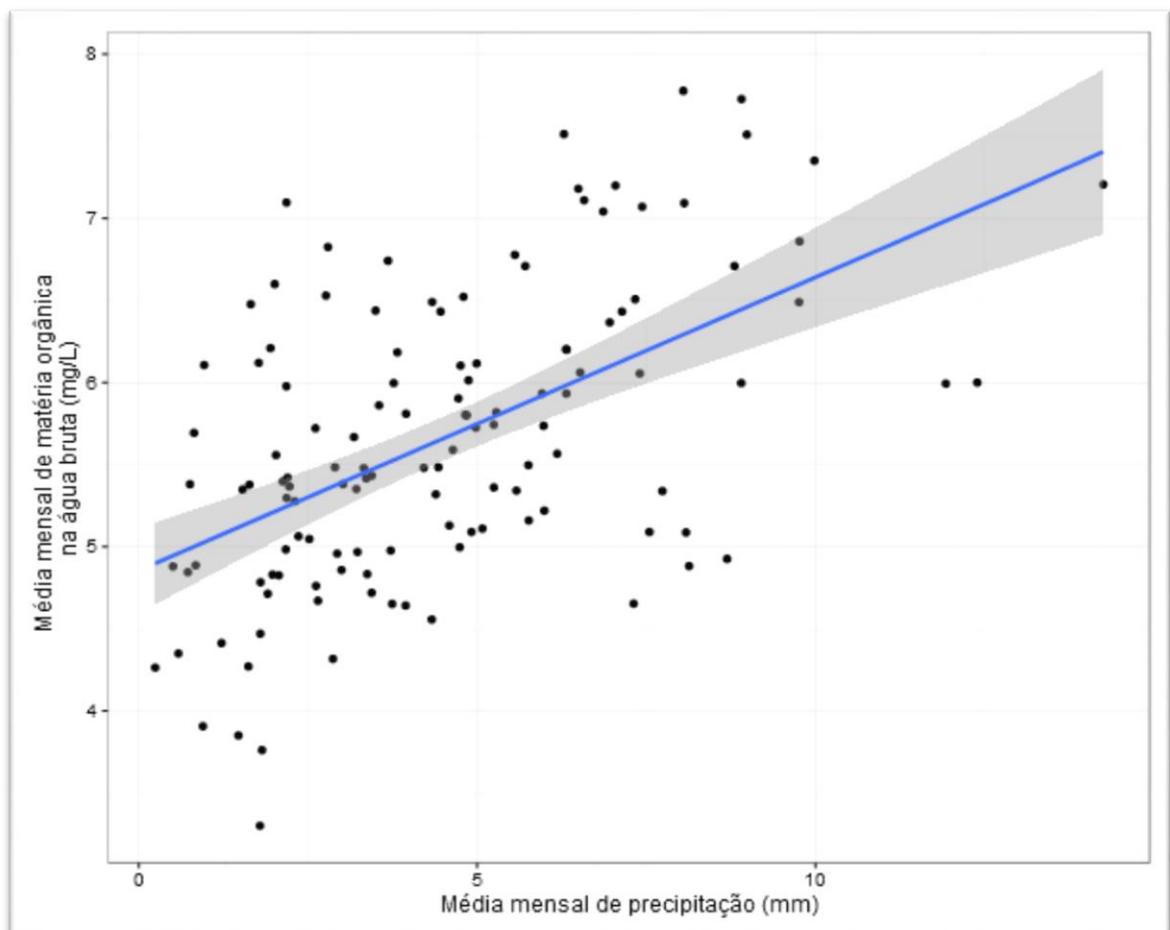
A linha azul demonstra que nos 10 anos de dados processados, a MO obteve resultados entre 4,8 e 7,4 mg.L⁻¹ quando a precipitação média mensal foi de 0 a 10 mm³. Houveram alterações fora da faixa constante porque as análises de MO são

realizadas uma vez ao dia, fato que pode não coincidir com o dia de maior precipitação. Como o índice pluviométrico é medido diariamente às 07:00, observou-se que choveu muito durante a tarde em determinado dia e a matéria orgânica teve o acréscimo nas primeiras horas do dia posterior.

As diferenças ocasionadas no que se refere à medição e a aquisição de dados de chuva de boa qualidade é bastante difícil, embora a medição e os aparelhos sejam simples.

Segundo Chevallier (1993) é muito difícil encontrar séries de dados pluviométricos ou pluviográficos confiável. Antes de criticar ou de analisar a consistência dos dados, é necessário ter um bom conhecimento dos métodos de aquisição, dos aparelhos usados, dos lugares de instalação e, ainda da personalidade dos observadores.

Figura 9 – Média mensal de matéria orgânica na água bruta X Média mensal da precipitação.



Fonte: Autor.

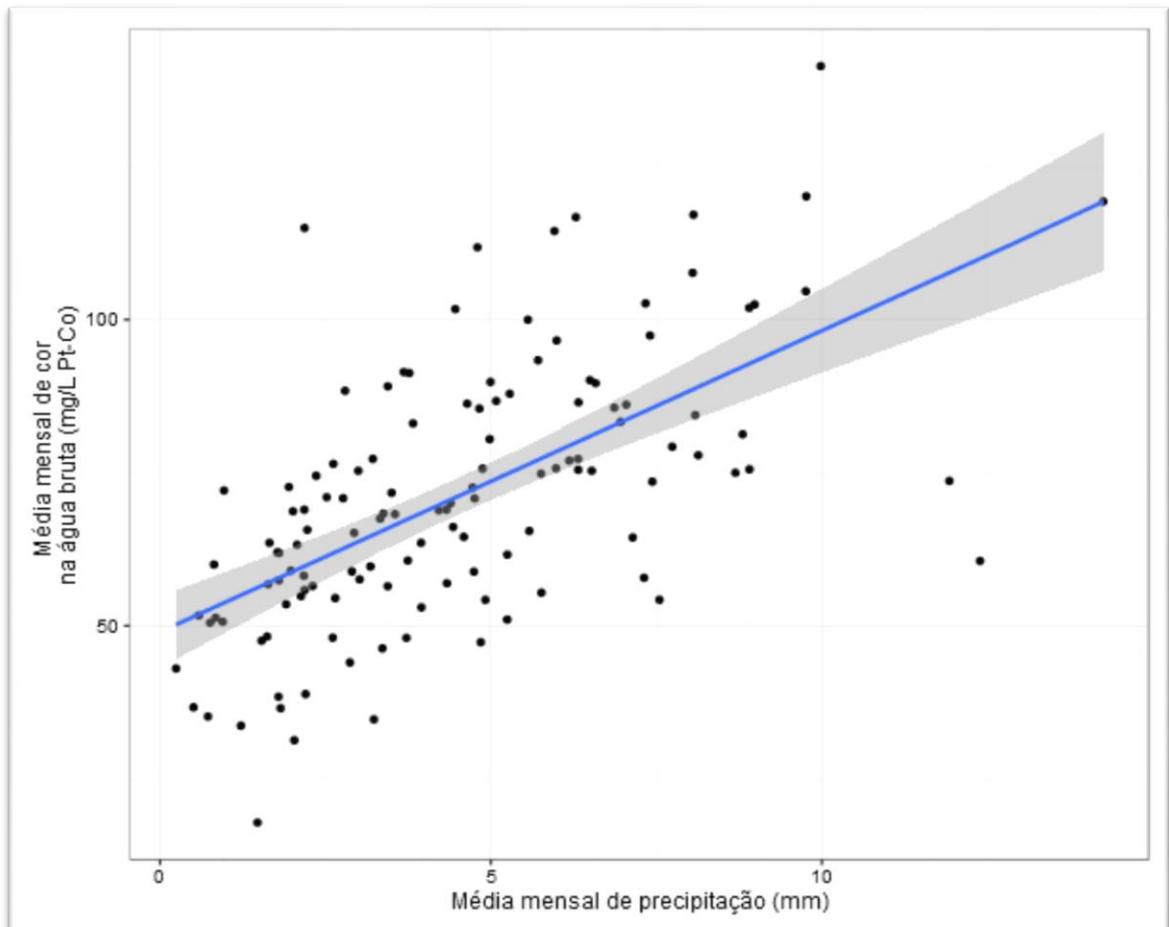
5.5 Média da cor da água bruta relacionada à precipitação mensal

O laboratório da ETA determina a cor aparente em uma amostra composta de água bruta. As coletas são realizadas a cada duas horas de tratamento, uma alíquota de cerca de 75 mL, que ao final do dia somam 1000 mL, tornando-se assim uma amostra representativa da água bruta tratada ao final da operação.

A média do parâmetro cor da água bruta da ETA é de $50 \text{ mg.L}^{-1} \text{ Pt-Co}$, porém à medida em que existe a ocorrência de chuva, a cor da água bruta tende a aumentar gradativamente. A linha azul no gráfico da Figura 10 demonstra a correlação da precipitação e da cor da água bruta ao longo de 10 anos.

Pode-se observar que existem pontos fora da curva que são caracterizados como pontuais, possivelmente pelo erro na medição do pluviômetro, ou pela diferença de distância entre os locais de captação e instalação do aparelho medidor (cerca de 2,5 Km).

Figura 10 – Média mensal de cor na água bruta X Média mensal de precipitação.



Fonte: Autor.

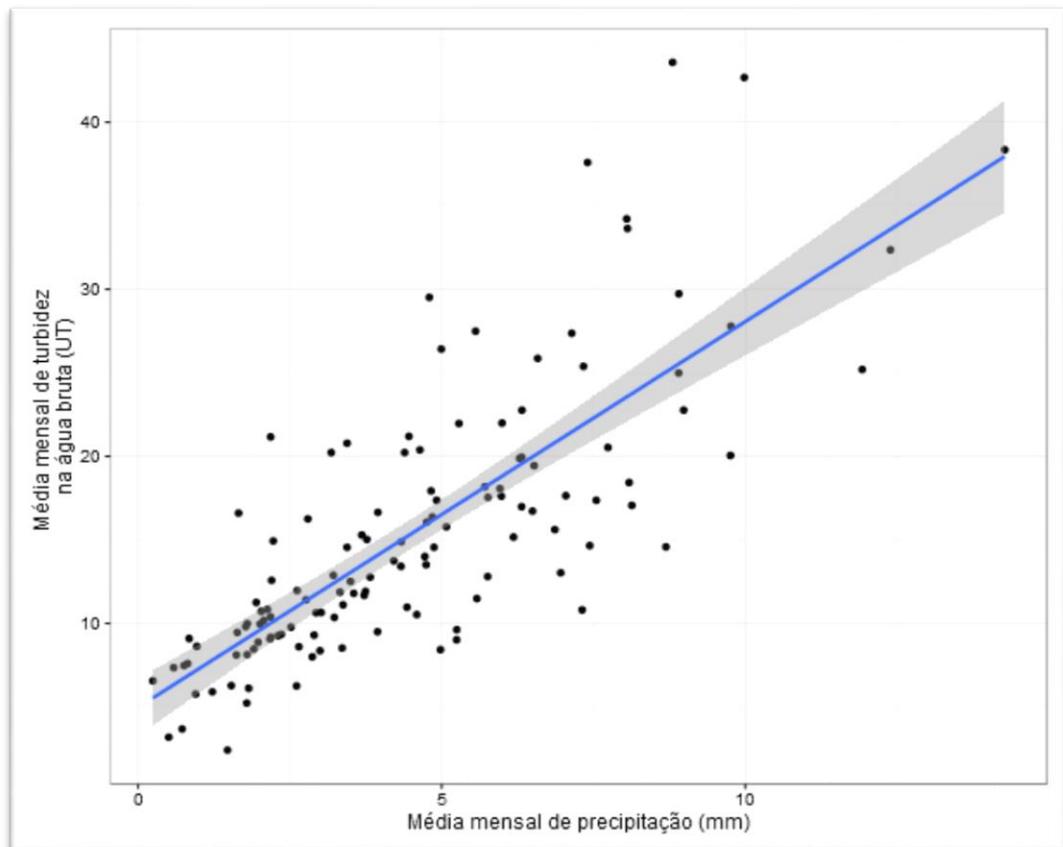
5.6 Variação da turbidez de acordo com o volume de precipitação

A turbidez é um parâmetro indicador da presença de argila, silte, substâncias orgânicas ou inorgânicas. Ela pode ser entendida como uma “medida indireta da quantidade de sólidos em suspensão” e varia de acordo com a quantidade de chuvas (RICHTER, 2009).

Em sistemas de tratamento de água a variação repentina dos valores de turbidez prejudica a eficiência nos processos de coagulação e filtração (RICHTER 2009). E a obtenção de seus valores garante uma dose correta de coagulante necessária à clarificação da água (LENZI *et al.*, 2009).

De acordo com o a Figura 11, a linha azul mostra a tendência do aumento da turbidez de acordo com o aumento da precipitação. Durante a pesquisa, foi observado que a turbidez sobe razoavelmente quando chove. Os valores médios obtidos não demonstram momentos exatos da alta, porém, nos arquivos avaliados foi possível detectar tal correlação registrada horas após a ocorrência do evento.

Figura 11 – Média mensal de turbidez na água bruta X Média mensal de precipitação.



Fonte: Autor.

5.7 Medida da eficiência de remoção da cor pela estação

O sistema convencional de tratamento de água de Caçapava do Sul é composto por 2 floculadores de fluxo vertical, dois decantadores de fluxo ascendente e 3 filtros de areia com fluxo descendente. Segundo Francisco, Pohlman e Ferreira:

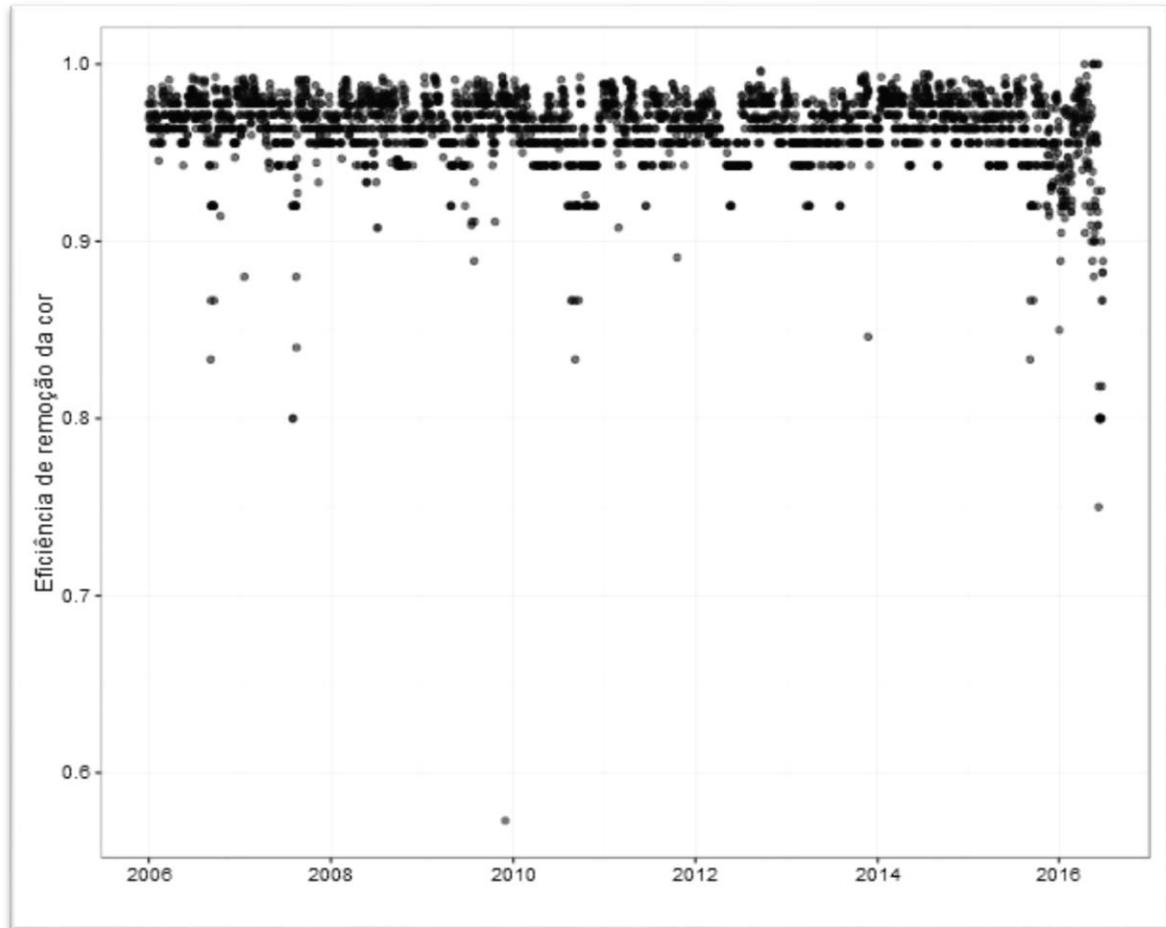
Por se tratarem de etapas sequenciais, o mau funcionamento de um dos processos envolvidos no tratamento convencional de água para abastecimento humano compromete a eficiência dos subsequentes, comprometendo a qualidade da água tratada (FRANCISCO; POHLMAN; FERREIRA, 2011).

Foi possível verificar que a vazão máxima de tratamento da ETA é de 120,0 L.s⁻¹, mas na verdade ela opera com apenas 79% de sua capacidade, atendendo assim a demanda atual da cidade.

Em termos de qualidade, não operar na vazão máxima ocasiona um maior rendimento nas etapas sequenciais de tratamento, pois quanto maior a vazão nominal, menor será a velocidade de sedimentação dos flocos formados na floculação e maior a eficiência na remoção da cor aparente.

É possível observar na Figura 12, que a eficiência de remoção da cor está concentrada na faixa de 95% em quase todos os meses do ano, porém, ocorre uma maior dispersão nos meses correspondentes a estação verão. Nos dias quentes, ocorre o aumento da demanda na produção de água tratada. Com este aumento, há um acréscimo no volume produzido. Assim sendo, verificou-se que o aumento do consumo de água tratada pela população, causa naturalmente o aumento da produção da ETA. Com o aumento da produção, as carreiras de operação dos 3 filtros em paralelo aumentam de uma média de 38 para 45 horas, diminuindo a taxa de filtração por excesso de material colmatado no leito filtrante. Como consequência destes fatos, tem-se a diminuição na eficiência de remoção da cor.

Figura 12 – Eficiência de remoção da cor X Ano.



Fonte: Autor.

5.8 Eficiência de remoção de MO anual

O sistema adotado na ETA contempla uma sequência de etapas onde a matéria orgânica é removida gradativamente. Inicialmente o processo de pré desinfecção, onde tem-se a oxidação da MO e posteriormente tem-se a aplicação do coagulante sulfato de alumínio que reage com a MO formando pequenos coágulos que se agregam entre si formando flocos mais densos do que a água.

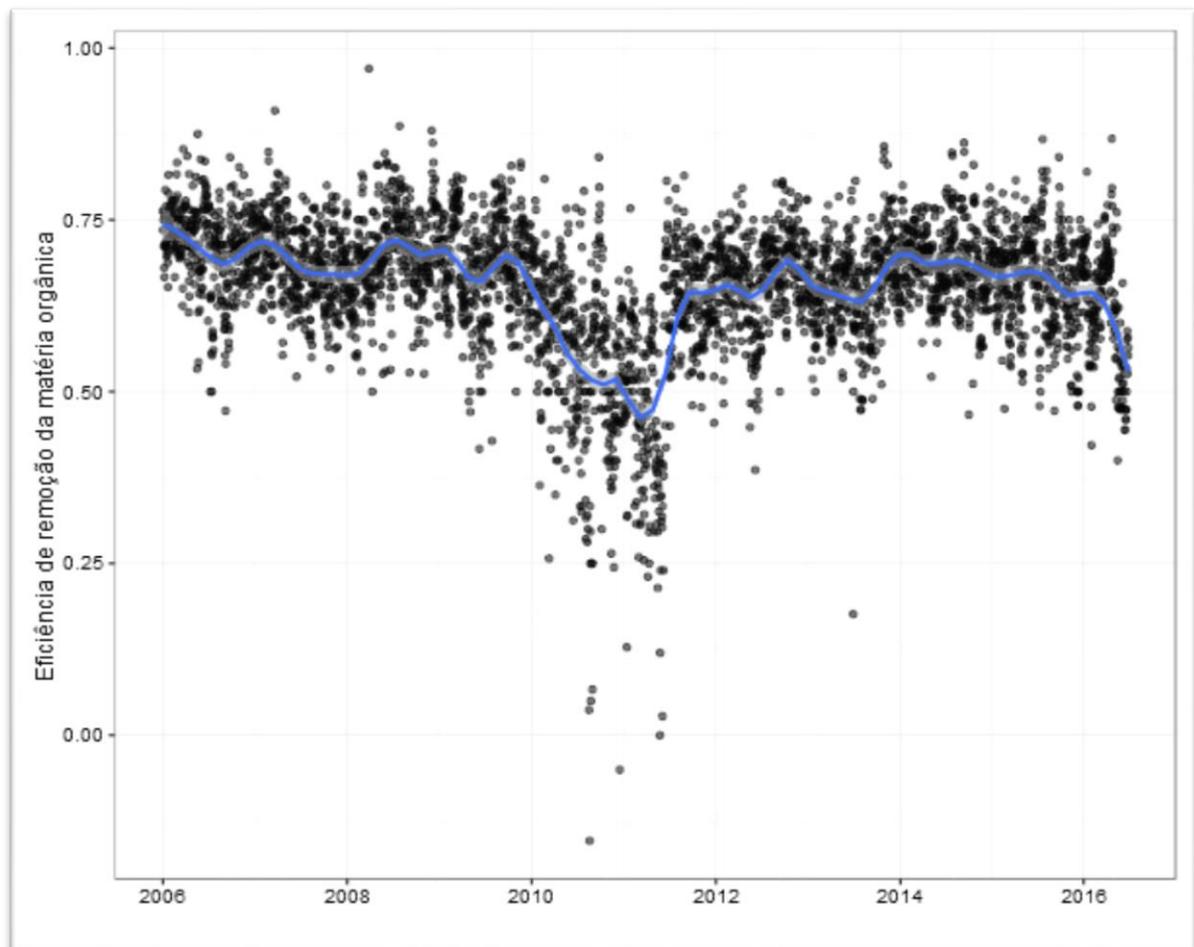
Pode-se observar na Figura 13, que o rendimento diminuiu no ano de 2011, pois de acordo com Molina, Lopes e Luna:

Além da escassez de água, as indústrias e empresas de saneamento sofrem também com baixa qualidade da água captada, que gera aumento do consumo de produtos químicos para tratamento da água e, algumas vezes, impossibilidade de tratamento, o que compromete a qualidade da água que abastece residências, a produção agropecuária e industrial do Estado (MOLINA, LOPES, LUNA., 2015).

Os resultados registrados das análises dos parâmetros físico-químicos e bacteriológicos dos mananciais de captação atingiram concentrações acima da média esperada pelo sistema de tratamento no referido período.

Devido a qualidade da água bruta foi necessário aumentar as dosagens de coagulante, o que implicou em maior tempo de detenção do sistema e o aumento nas horas das carreiras dos filtros. O aumento das médias das carreiras de filtros permitiram que houvesse maior quantidade de material colmatado no leito filtrante. Como consequência dos fatos citados acima, ocorreu um menor rendimento na redução de MO no período compreendido entre os anos de 2011 e 2012.

Figura 13 – Eficiência de remoção da matéria orgânica X Ano.



Fonte: Autor.

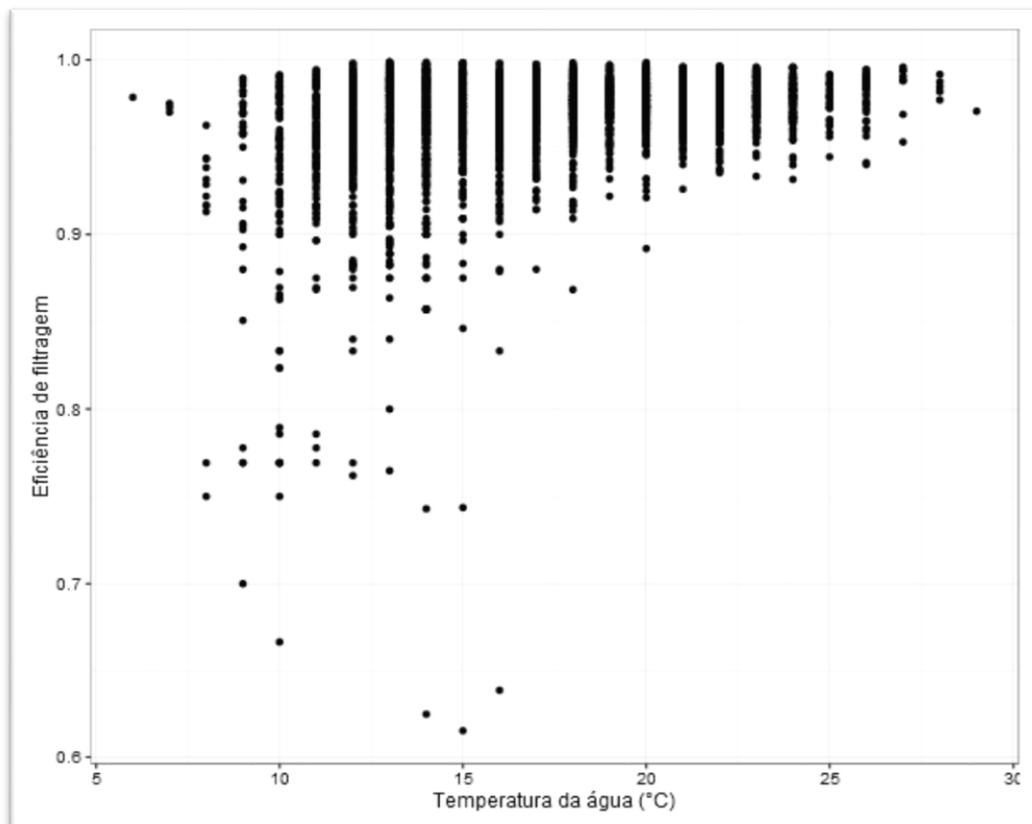
5.9 Eficiência da filtração em função da temperatura da água

É de grande importância conhecer as possíveis variações de temperatura ao longo dos processos e operação dos sistemas de tratamento de água, visto que para Pavanelli (2001) “a temperatura tem influência no desempenho das unidades de mistura rápida, floculação, desinfecção e nas reações de hidrólise do coagulante e solubilidade de gases”.

Para corroborar com a Figura 14, no ano de 1993, Di Bernardo, realizou um teste de equilíbrio heterogêneo do $Al(OH)_3$, e constatou que o coagulante sulfato de alumínio apresentou maior eficiência na formação de flocos (DI BERNARDO *et al.*, 2002, *apud* GEROMEL, 2012) .

Conforme pode ser observado na Figura 14, o maior rendimento na filtração ocorre nos períodos de verão, quando as temperaturas da água atingem a faixa de 19°C a 25°C. Já no período de inverno, onde a temperatura da água varia de 7 a 15°C, existe uma maior dispersão na eficiência da filtração.

Figura 14 – Eficiência de filtração X Temperatura da água.



Fonte: Autor.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A legislação brasileira é antiga, porém à medida em que novas causas de doenças são descobertas, o Ministério da Saúde intervém com novas adaptações ao texto original, através de portarias, para assim, minimizar problemas de saúde futuros por falta de saneamento básico.

Conclui-se então que houve um planejamento eficiente por parte da CORSAN que resultou na construção de uma estação de tratamento de água capaz de atender a demanda da população de Caçapava do Sul – RS, pois não basta somente ter água em abundância, é necessário ter eficácia na operação da ETA, e agregar conhecimento técnico aos trabalhadores engajados na política da empresa.

A estação estudada apresentou resultados satisfatórios, pois atende a legislação vigente e está sob constante inspeções do órgão fiscalizador.

Existe um investimento em programas como o PMG que auxiliam na qualificação constante do corpo técnico e na diminuição dos custos operacionais, para assim levar à comunidade uma certeza de estar consumindo não apenas uma mercadoria, mas um bem necessário à vida, disponível em cada torneira de suas residências.

REFERÊNCIAS

BARROS, Raphael T. de V. et al. **Saneamento: Manual de saneamento e proteção ambiental para os municípios**. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG, 1995.

BASTING, Roberta T. PEREIRA, Antonio C; MENEGHIM, Marcelo C. Avaliação da prevalência de cárie dentária em escolares do Município d Piracicaba-SP, Brasil, após 25 anos de fluoretação das águas de abastecimento público. **Rev. Odontol. Univ. São Paulo**, São Paulo, vol. 11, nº 4, out/dez., p. 287-92,1997.

BATALHA, Ben-Hur L.; ROCHA, Aristides A.; Autodepuração nos cursos da água. **Revista DAE**, vol. 46, nº 144, mar, 1986.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. **Resolução 357/2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília. 2005. Disponível em:
<<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em 21 jun. 2016.

_____. Ministério do Meio Ambiente. **Cidades sustentáveis: Subsídios à elaboração da Agenda 21 Brasileira**. Brasília, 2000.

_____. Ministério do Meio Ambiente. **Plano Nacional de Recursos Hídricos**. Brasília: Secretaria de Recursos Hídricos, 2006.

_____. Ministério da Saúde. **Portaria n. 2914 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. Disponível em:
<<http://www.jusbrasil.com.br/diarios/33161595/dou-secao-1-14-12-2011-pg-39>>. Acesso em: 21 jun. 2016.

BRITO NETA, Maria S.; LEAL, Marina P. N.; REIS, Adriana S. Análise físico-química, microbiológica de água mineral produzida no nordeste e comercializada em Teresina – Piauí. **Rev. Interdisciplinar**, Teresina, vol. 6, nº 2, abr/mai/jun., p. 33-37. 2013.

CAIRNCROSS S. Aspectos de saúde nos sistemas de saneamento básico. **Engenharia Sanitária**, Rio de Janeiro, v 23, nº 4, 1984.

CELLIGOI, André. Considerações sobre análises químicas de águas subterrâneas. **Geografia**, Londrina, v. 8, nº 1, jan/jun., p. 91-97, 1999.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Matéria Orgânica e Nutrientes**. 2006. Disponível em: <http://mortandadedepeixes.cetesb.sp.gov.br/alteracoes-fisicas-e-quimicas/materia-organica-e-nutrientes/>. Acesso em: 20 nov. 2016.

CHEVALLIER, P. Aquisição e Processamento de Dados. In: TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. Porto Alegre: Editora Universitária / Edusp / ABRH, 1993.485- 525p.

DI BERNARDO, Luiz; DANTAS, Ângela D.B. **Métodos e técnicas de tratamento de água**. 2. ed. São Carlos: RiMa, v. 1. 2005.

FERREIRA FILHO, Sidney; SAKAGUTI, Mariane. Comportamento cinético do cloro livre em meio aquoso e formação de subprodutos da desinfecção. **Eng. Sanit. Ambient.**, Rio de Janeiro, vol.13, nº 2, abr/jun., p. 198-206, 2008.

FRANCISCO, Amanda; POHLMANN, Paulo H.; FERREIRA, Marco. Tratamento convencional de águas para abastecimento humano: Uma abordagem teórica dos processos envolvidos e dos indicadores de referência. In: **II Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental**, 2011, Londrina. Disponível em: <http://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2011/IX-005.pdf>. Acesso em: 23 nov. 2016.

FRANCO, Elton S. **Avaliação da influência dos coagulantes sulfato de alumínio e cloreto férrico na remoção de turbidez e cor da água bruta e sua relação com sólidos na geração de lodo em estações de tratamento de água**. 2009. 207f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2009.

FREITAS, Marcelo B.; BRILHANTE, Ogenis M.; ALMEIDA, Liz M. Importância da análise de água para a saúde pública em duas regiões do Estado do Rio de Janeiro: enfoque para coliformes fecais, nitrato e alumínio. **Cad. Saúde Pública**, vol.17, n.3, p.651-660, 2001.

FREITAS, Marcelo B; FREITAS, Carlos M. A vigilância da qualidade da água para consumo humano – desafios e perspectivas para o Sistema Único de Saúde. **Ciênc. & Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, vol.10, nº. 4, out/dez, 2005.

FUNASA. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de Saneamento**. 4ª ed. Brasília: Fundação Nacional de Saúde, FUNASA. 2007.

GARCIA, Renato L. Simulação da qualidade da água em regime não-permanente. **Instituto de Pesquisas Hidráulicas – UFRGS**. 1997. Disponível em: <<http://revista.liberato.com.br/ojs2/index.php/revista/article/viewFile/14/10>>. Acesso em: 28 nov. 2016.

GEROMEL, Camila G. A. **Tratamento Físico-Químico De Efluentes De Curtume Por Meio De Filtros De Membrana Seletiva**. 2012. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – São Paulo.

GNADLINGER, João. Rumo a um padrão elevado de qualidade de água de chuva coletada em cisternas no Semi-árido brasileiro. In: **6º Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água de Chuva**, 2007, Belo Horizonte.

GUIMARÃES, CARVALHO, SILVA. **Saneamento Básico** 2007. Disponível em: <<http://www.ufrrj.br/institutos/it/deng/leonardo/downloads/APOSTILA/Apostila%20IT%20179/Capit%204%20parte%202.pdf>>. Acesso em: 05 de jul. 2016.

HANTSCHHEL, Kerstin E. **Análises físico-químicas da água tratada distribuída para a população pelo SAMAE de Rio Negrinho**. 2004. 47f. Relatório de estágio (Graduação em Química) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2004.

HELLER, Léo. A ética do capitalismo e o saneamento no Brasil. **Le Monde Diplomatique Brasil**, 2 jul. 2013. Disponível em: <<http://www.diplomatique.org.br/artigo.php?id=1462>>. Acesso: em 10 nov. 2016.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Contagem da População - Dados digitais**. 2010. Disponível em: <<http://www.ibge.com.br/>>. Acesso em: 02 jun. 2016.

LEME, Francilio Paes. **Teoria e técnicas de tratamento de água**. 2º Ed. Rio de Janeiro, ABES, 1990.

LENZI, E. ; FAVERO, L. O. B.; LUCHESE, E. B. **Fontes e tratamento de água**. In: _____. Introdução à química da água: ciência, vida e sobrevivência. Rio de Janeiro: LTC, 2009. Cap. 13 p.441-507.

LIMA, Maria L. A. Uso do geoprocessamento na qualidade de água superficial destinada ao abastecimento humano no Estado de Rondônia. In: **Anais I Seminário de Recursos Hídricos d Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul: o Eucalipto e o Ciclo Hidrológico**, 2007, Taubaté. Disponível em:
< <http://www.agro.unitau.br/serhidro/doc/pdfs/199-206.pdf>> . Acesso em: 27 nov. 2016.

MARQUES, José A. A. S.; SOUSA, Joaquim J. O. Hidráulica Urbana – Sistemas de abastecimento de água e de drenagem de águas residuais. **Eng. Sanit. Ambient.**, Rio de Janeiro, vol.16, nº.1, 2011.

MEYER, Scheila T. **O Uso de Cloro na Desinfecção de Águas, a Formação de Trihalometanos e os Riscos Potenciais à Saúde Pública**. Cad. Saúde Públ., Rio de Janeiro, vol. 10, nº 1, jan/mar, p. 99-110,1994.

MOLINA, Carlos; LOPES, Luciana; LUNA, Andrew. **Uso Sustentável da Água na Indústria de Bebidas CRS BRANDS**. In: 10ª Edição do Prêmio FIESP de Conservação e Reuso de Água, 2015, São Paulo.

MORAES, Luiz R. S.; BORJA, Patrícia C.; TOSTA, Cristiane S. Qualidade de água da rede de distribuição e de beber em assentamento periurbano: estudo de caso. In: **Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 20ª Feira Internacional de Tecnologias de Saneamento Ambiental**, 1999, Rio de Janeiro.

OLIVEIRA, Ana C. S.; TERRA, Ana P. S. Avaliação microbiológica das águas dos bebedouros do Campus I da Faculdade de Medicina do Triângulo Mineiro, em relação à presença de coliformes totais e fecais. **Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical**, vol.37, nº 3, mais/jun., p. 285-286, 2004.

ONU. Organização das Nações Unidas. **Declaração de Estocolmo de 1972**. Disponível em: <www.mma.gov.br/estruturas/agenda21/_arquivos/estocolmo.doc>. Acesso em: 26 jun. 2016.

_____. Organização das Nações Unidas. **Declaração do Rio sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento**. 1992. Disponível em:
< <http://www.onu.org.br/rio20/img/2012/01/rio92.pdf>>. Acesso em: 26 jun. 2016.

PAVANELLI, Gerson. **Eficiência de diferentes tipos de coagulantes na coagulação, floculação e sedimentação de água com cor ou turbidez elevada**. 2001. 233f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia São Carlos, Universidade de São Paulo. 2001.

PEDROSA, M. S. **Controle de qualidade da água de uma cidade de pequeno porte do estado da Paraíba**. 2014. 38f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química Industrial)- Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2014.

QUEGE, Karina. **Avaliação da qualidade da água no córrego Botafogo na cidade de GOIÂNIA – GO**. In: 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005, Campo Grande. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/abes23/I-174.pdf>>. Acesso em: 24 nov. 2016.

RAIJ, Bernardo van. A capacidade de troca de cátions das frações orgânica e mineral em solos. **Bragantia**, Campinas, v. 28, n. unico, jan., p. 85-112, 1969. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0006-87051969000100008&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 02 dez. 2016.

RAMIRES, Irene; BUZALAF, Marília A. R. A fluoretação da água de abastecimento público e seus benefícios no controle da cárie dentária – cinquenta anos no Brasil. **Ciência & Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, vol. 12, nº 4, jul/ago., p. 1057-1065, 2007.

REBELO, Maria H. et al. Vigilância da qualidade da água para consumo humano - Determinação de trihalometanos. In: **2º Congresso da Água – Associação Portuguesa de Recursos Hídricos**. Lisboa, Portugal, 2004. Disponível em: <<http://www.aprh.pt/congressoagua2004/PDF/19.PDF>>. Acesso em: 30 nov. 2016.

RICHTER, C. A. **Parâmetros de qualidade e definição de processos de tratamento. Água: métodos e tecnologia de tratamento**. 1 ed. São Paulo: Blucher, 2009. Cap. 7 p.65-89.

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria de Estado da Saúde. **Portaria n. 10 de 16 de agosto de 1999**. Define teores de concentração do íon fluoreto nas águas para consumo humano fornecidas por Sistemas Públicos de Abastecimento. Disponível em: <http://www.portoalegre.rs.gov.br/dmae/doc_usu/SDDVP-portaria10-99.pdf>. Acesso em: 25 nov. 2016.

ROOCK, J.W. & RIBEIRO, J.W.R. **Saneamento básico e sua relação com o meio ambiente e a saúde pública**. Juiz de Fora. 2010.

SABESP. Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. **Manual do usuário SABESP**. 2014. Disponível em:

<http://site.sabesp.com.br/uploads/file/asabesp_doctos/manual_usuario_sabesp.pdf>. Acesso em: 01 nov. 2016.

SANEPAR. Companhia de Saneamento do Paraná. **Aumento de 20% nos meses de verão**. 2011. Disponível em: <<http://site.sanepar.com.br/noticias/no-verao-paranaense-consumo-de-agua-aumenta-2000-litros-por-residencia>>. Acesso em: 23 nov. 2016.

SILVA, Rita C. A.; ARAUJO, T. M.. Qualidade da água do manancial subterrâneo em áreas urbanas de Feira de Santana (BA). **Ciênc. saúde coletiva**, São Paulo, v. 8, n. 4, p. 1019-1028, 2003. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S141381232003000400023&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: 02 dez. 2016.

SILVA NETO, J. L. **Análise físico-química de parâmetros de qualidade da água de abastecimento de uma cidade localizada no alto sertão do estado de Pernambuco**. 2013. 34f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química)- Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2013.

TEIXEIRA, Júlio C. & GUILHERMINO Renata L. **Análise da associação entre saneamento e saúde nos estados brasileiros, empregando dados secundários do banco de dados de indicadores e dados básicos para a saúde 2003 - IDB 2003**.

TOMAZONI, Julio C. et al. Utilização de medidas de turbidez na quantificação da movimentação de sólidos por veiculação hídrica nas bacias dos rios Anta Gorda, Brinco, Coxilha Rica e Jirau sudoeste do Estado do Paraná. **Boletim Paranaense de Geociências**, vol. 57, p. 49-56, 2005.

TRINDADE, Ana Laura Cerqueira et al. Tendências temporais e espaciais da qualidade das águas superficiais da sub-bacia do Rio das Velhas, estado de Minas Gerais. **Eng. Sanit. Ambient.**, Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522016005006102&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 22 nov. 2016.

TUCCI, C.E. M. **Modelos hidrológicos**. Porto Alegre, 2005.

_____. **Programa de Drenagem sustentável: apoio ao desenvolvimento no manejo de águas pluviais urbanas** - Versão 2.0. Brasília Ministério das cidades, 2005a.

VALENTE, José P. S.; PADILHA, Pedro M.; SILVA, Assunta M. M. Oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e demanda química de

oxigênio (DQO) como parâmetros de poluição no ribeirão Lavapés/Botucatu - SP. **Eclet. Quím.**, São Paulo, v. 22, p. 49-66, 1997. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-46701997000100005&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: 02 dez. 2016.

VERCELLI, L. C. A. Estação Ciência: espaço educativo institucional não formal de aprendizagem. 2005. In: **Anais do IV encontro de pesquisa discente do programa**. Disponível em: <<http://www.uninove.br/PDFs/Mestrados/Educa%C3%A7%C3%A3o/Encontro/24.pdf>>. Acesso em: 26 out. 2016.

VESILIND, P. Aarne.; MORGAN, Susan M. **Introdução à Engenharia Ambiental**. 2ª edição, Cengage Learning, 2011.

VIEIRA, Paula A. R. **Avaliação de desempenho de Estações de Tratamento de água para consumo humano**. 2009. 662f. Tese (Doutorado em Ciências e Tecnologias do Ambiente) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade do Algarve, Faro, Portugal. 2009.

VON SPERLING, Marcos. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuais – Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**, v.01, Minas Gerais, ABES, 1995