



**INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO DE GAZA**

**DIVISÃO DE AGRICULTURA**

**CURSO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA AGRÍCOLA E ÁGUA RURAL**

**MONOGRAFIA CIENTIFICA**

**DIMENSIONAMENTO E CONSTRUÇÃO DE DIFERENTES LINHAS  
TECNOLÓGICAS DE TRATAMENTO DE ÁGUA EM ESCALA LABORATORIAL**

Monografia apresentada e defendida como requisito para a obtenção do grau de Licenciatura em Engenharia Hidráulica Agrícola e Água Rural

**Autor:** Atanásio Azélia Wate

**Tutor:** Prof. Doutor MárioTouzene Afonso Matangue

Lionde, Novembro 2023



**INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO DE GAZA**  
**DIVISÃO DE AGRICULTURA**  
**CURSO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA AGRÍCOLA E ÁGUA RURAL**

Monografia científica sobre, dimensionamento e construção de diferentes linhas tecnológicas de tratamento de água em escala laboratorial, apresentado ao Curso de Engenharia Hidráulica Agrícola e Água Rural na Divisão de Agricultura do Instituto Superior Politécnico de Gaza, como requisito para obtenção do grau de Licenciatura em Engenharia Hidráulica Agrícola e Água Rural.

(Prof. Doutor Mário Tazene Afonso Matangue, Ph.D.)

(Eng.º. Algardás Damião Mabunda)

(Eng.ª. Filipa Ncube)

Lionde, Novembro 2023

# ÍNDICE

ÍNDICE DE TABELAS .....	i
ÍNDICE DE EQUAÇÕES .....	i
ÍNDICE DE FIGURAS .....	i
LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS .....	iii
GRANDEZAS E UNIDADES .....	iv
SÍMBOLOS QUÍMICOS .....	v
DECLARAÇÃO .....	vi
DEDICATÓRIA .....	7
AGRADECIMENTOS .....	vii
RESUMO .....	viii
ABSTRACT .....	ix
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 OBJECTIVOS .....</b>	<b>3</b>
1.1.1 Objectivo Geral .....	3
1.1.2 Objectivos Específicos .....	3
1.2 Problema de Estudo e Justificativa .....	4
1.3 Hipótese de Estudo .....	4
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>5</b>
<b>2.1 CAPTAÇÃO .....</b>	<b>5</b>
2.1.1 Formas de Captação da Água.....	5
<b>2.2 TRATAMENTO DA ÁGUA .....</b>	<b>7</b>
2.2.1 Estação de Tratamento de Água .....	7
2.2.2 Tipos de Tratamento de Água.....	7
2.2.3 Principais Processos de Tratamento de Água .....	7
<b>2.3 TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO DE ÁGUA .....</b>	<b>15</b>
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>19</b>
3.1 Localização da área do estudo .....	19
<b>3.2 CONCEPÇÃO DE SISTEMA DE TRATAMENTO DE ÁGUA COM USO DE DIFERENTES UNIDADES SIMPLIFICADAS E CONVENCIONAIS .....</b>	<b>20</b>
<b>3.3 DIMENSIONAMENTO E CONSTRUÇÃO DAS UNIDADES DE TRATAMENTO DAS PRINCIPAIS LINHAS DE TRATAMENTO DE ÁGUA .....</b>	<b>22</b>
3.3.1 Dimensionamento da fonte de alimentação (Manancial Abastecedor) .....	22
3.3.2 Dimensionamento do conjunto de elevação de água bruta .....	23
3.3.3 Dimensionamento das unidades de aeração e o tanque de coleta de água aerada .....	23
3.3.4 Dimensionamento dos orifícios que levam a água de tanque de coleta de água aerada para unidades de mistura rápida .....	24
3.3.5 Dimensionamento do Tubo de Venturi como unidade de mistura rápida .....	25
3.3.6 Dimensionamento de dois trechos de canalizações em série, com diâmetros crescentes no sentido do escoamento como unidades de mistura lenta	

no processo de floculação .....	27
3.3.7 Dimensionamento das unidades de sedimentação (Decantadores) .....	28
3.3.8 Dimensionamento das unidades de filtração .....	29
3.3.9 Preparação do Material Filtrante .....	30
3.4 Endocarpo de Coco usado como carvão ativado no processo de filtração ....	30
3.4.1 Dimensionamento de sistema de desinfecção (Clorador por difusão) .....	31
3.5 CONCEPÇÃO DO SISTEMA COMPLETO CONVENCIONAL E SIMPLIFICADO DE TRATAMENTO DE ÁGUA, COM DIFERENTES UNIDADES DE TRATAMENTO ....	33
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	34
4.1 Determinação da qualidade de água bruta e tratada nas linhas de tratamento de água .....	34
4.2 Análise de Turbidez na Decantação .....	35
4.2.1 Discussão sobre as linhas na decantação .....	36
4.3 Análise de Turbidez na Filtração .....	37
4.3.1 Discussão sobre as Linhas na Filtração .....	38
4.4 CORELAÇÃO DAS LINHAS TECNOLÓGICAS DE TRATAMENTO .....	39
4.4.1 Correlação das linhas na qualidade de água medida nos decantadores .	39
4.4.2 Correlação das linhas na qualidade de água medida nos filtros .....	40
5 CONCLUSÃO .....	41
6 RECOMENDAÇÕES .....	42
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	43
8 APÊNDICE A .....	45
9 APENDICE B .....	46
10 ANEXO A .....	47 11
ANEXO B .....	48

## ÍNDICE DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Parâmetros a serem considerados na qualidade das águas .....	16
<b>Tabela 2</b> - Produtos Químicos Empregados no Tratamento de Água .....	18
<b>Tabela 3</b> - Valores das amostras coletadas nas linhas de tratamento de água e suas médias ..	34
<b>Tabela 4</b> - Grau de correlação das linhas da decantação .....	39
<b>Tabela 5</b> - Grau de correlação das linhas de filtração .....	40

## ÍNDICE DE EQUAÇÕES **Equação 1:** Dimensionamento do reservatório escavado... **Erro!** **Indicador não definido.**

<b>Equação 2:</b> Dimensionamento das plataformas de aeração e tanque de colecta .....	24
<b>Equação 3:</b> Dimensionamento dos orifícios de tanque de colecta de água aerada .....	25
<b>Equação 4:</b> Dimensionamento de unidades de mistura rápida .....	26
<b>Equação 5:</b> Dimensionamento da tubulação de floculação .....	27
<b>Equação 6:</b> Dimensionamento das unidades de sedimentação .....	28
<b>Equação 7:</b> Dimensionamento da unidade de filtração .....	29

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Formas de Captação da Água .....	6
<b>Figura 2:</b> Aerador de queda tipo cascata .....	8
<b>Figura 3:</b> Tubo de venturi usado como unidade de mistura rápida .....	8
<b>Figura 4:</b> Floculadores constituídos de trechos de canalizações .....	10
<b>Figura 5:</b> Decantador Hidráulico horizontal.....	11
<b>Figura 6:</b> Filtro rápido de tripla camada e retrolavagem .....	13
<b>Figura 7:</b> Clorador por difusão usado no processo de desinfecção da água .....	14
<b>Figura 8:</b> Estação de tratamento convencional da água .....	15
<b>Figura 9:</b> Mapa de Localização da área e do local de estudo .....	19
<b>Figura 10:</b> Reservatório escavado usado como fonte de alimentação .....	22
<b>Figura 11:</b> Eletrobomba e os acessórios instalados na fonte de captação .....	23
<b>Figura 12:</b> Aerador e o tanque de coleta de água aerada instalados no sistema .....	24
<b>Figura 13:</b> Orifício inferior esquerdo e direito no tanque de coleta de água aerada .....	25
<b>Figura 14:</b> Desenho esquemático do tubo de venturi usado como unidade de mistura de coagulantes no tratamento de água .....	26
<b>Figura 15:</b> Sistema de floculação constituído de dois trechos de canalizações ligados em serie .....	27
<b>Figura 16:</b> Dois decantadores instalados no sistema de tratamento de água para consumo humano .....	28

<b>Figura 17:</b> Filtro metálico hidráulico de fluxo descendente instalado no sistema de tratamento de água .....	29
<b>Figura 18:</b> Peneiramento de areia usada filtro .....	30
<b>Figura 19:</b> Processo de carbonização do endocarpo de coco .....	31
<b>Figura 20:</b> Clorador por difusão usado no processo de desinfecção da água .....	32
<b>Figura 21:</b> Sistema Completo de Tratamento de água instalado no ISPG .....	33
<b>Figura 22:</b> Diferentes unidades instaladas no sistema de tratamento de água .....	33
<b>Figura 23:</b> Médias das amostras de turbidez de água nas linhas de decantação .....	35
<b>Figura 24:</b> Valores em percentagem das médias amostras de turbidez de água nas linhas de decantação .....	36
<b>Figura 25:</b> Valores médios das amostras de turbidez de água nas linhas de filtração.....	37
<b>Figura 26:</b> Valores em percentagem das médias das amostras de turbidez de água nos filtros .....	38
<b>Figura 27:</b> Processo de análise das amostras de água coletadas nas linhas de tratamento .....	47
<b>Figura 28:</b> Construção das bancadas das unidades de tratamento .....	47
<b>Figura 29:</b> Processo de corte do acrílico .....	47
<b>Figura 30:</b> Processo de montagem dos decantadores .....	48
<b>Figura 31:</b> Processo de instalação do sistema .....	48

## LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

<b>AB</b>	Água	bruta
<b>ADTVNF+</b>		Água decantada com tudo de venturi normal e sistema de floculação
<b>ADTVNF-</b>		Água decantada com tudo de venturi normal e sem sistema de floculação
<b>ADTVMF+</b>		Água decantada com tudo de venturi modificado e sistema de floculação
<b>ADTVMF-</b>		Água decantada com tudo de venturi modificado e sem sistema de floculação
<b>AFaTVMF+</b>		Água filtrada de Antracite com tudo de venturi modificado e sistema de floculação
<b>AFaTVMF-</b>		Água filtrada de Antracite com tudo de venturi modificado e sem sistema de floculação
<b>AFaTVNF+</b>		Água filtrada de Antracite com tudo de venturi normal e sistema de floculação
<b>AFaTVNF-</b>		Água filtrada de Antracite com tudo de venturi normal e sem sistema de floculação
<b>AFcTVMF+</b>		Água filtrada de Coco com tudo de venturi modificado e sistema de floculação
<b>AFcTVMF-</b>		Água filtrada de Coco com tudo de venturi modificado e sem sistema de floculação
<b>AFcTVNF+</b>		Água filtrada de Coco com tudo de venturi normal e sistema de floculação
<b>AFcTVNF-</b>		Água filtrada de Coco com tudo de venturi normal e sem sistema de floculação
<b>ABNT</b>		Associação Brasileira de Normas Técnicas
<b>DMM</b>		Diploma Ministerial Moçambicana nº 180/2004
<b>ETA</b>		Estação de Tratamento de Água

<b>FIPAG</b>	Fundo de Investimento e Património do Abastecimento de Água
<b>ISPG</b>	Instituto Superior Politécnico de Gaza
<b>NBR</b> Norma	Brasileira <b>pH</b> Potencial Hidrogeniónico
<b>TDS</b> Sólidos	Totais Disponíveis;
<b>VMP</b> Valores	Máximos permissíveis;

### GRANDEZAS E UNIDADES

$A_d$	Área do decantador	$\theta_h$	Tempo de deteção hidráulica
$A_f$	Área do filtro	pdf	Profundidade
$A_{furo}$	Área do furo	$Q_{linha}$	Vazão na linha de tratamento
$A_M$	Área do manancial	$Q_P$	Vazão do projecto
$A_{orif}$	Área do orifício	$R_e$	Reynolds
$A_{S1}$	Área na secção venturi	$R_h$	Raio hidráulico
$A_{t1}$	Área do trecho 1	$S_I$	Secção inferior
$A_{t2}$	Área do trecho 2	$S_{II}$	Secção superior
$A_T$	Área do tanque	TDH	Tempo de detenção hidráulica
$C_{S1}$	Comprimento na secção venturi	$T_F$	Tempo de funcionamento
$C_{t1}$	Comprimento do trecho 1	TXA	Taxa de aplicação
$C_{t2}$	Comprimento do trecho 2	TXF	Taxa de filtração
D	Diâmetro	TXS	Taxa de aplicação superficial
$\varepsilon$	Rigrosidade deacrílico	$\mu$	Viscosidade dinâmica
f	Coefficiente de atrito	v	Velocidade
g	Aceleração de gravidade	$V_h$	Velocidade horizontal
G	Gradiente	$V_{orif}$	Velocidade nos orifícios
$G_{S1}$	Gradiente na secção venturi	$V_P$	Velocidade permissível
$G_{t1}$	Gradiente do trecho 1	$v_s$	Velocidade de sedimentação
$G_{t2}$	Gradiente do trecho 2	$v_{S1}$	Velocidade na secção venturi
H	Altura	$v_{t1}$	Velocidade do trecho 1
$H_t$	Altura total na filtração	$v_{t2}$	Velocidade do trecho 2
J	Perda de carga na decantação	MIC	Micrómetro

### SÍMBOLOS QUÍMICOS

Símbolo do Composto	Nome do Composto	Símbolo do Composto	Nome do Composto
---------------------	------------------	---------------------	------------------



$HCl$	Ácido Clorídrico	$CaCO_3$	Carbonato de Cálcio
$H_2SiF_6$	Ácido Fluorssilícico	$MgCO_3$	Carbonato de Magnésio
$H_2SO_4$	Ácido Sulfúrico	$KHCO_3$	Carbonato de Potássio
$NH_3$	Amônia Anidra	$Na_2CO_3$	Carbonato de Sódio
$NaAlO_2$	Aluminato de Sódio	$FeCl_3 \cdot 6H_2O$	Cloreto Férrico
$Al_2(SO_4)_3$	Sulfato de Alumínio	$Cl_2$	Cloro
	Sulfato Ferroso	$Cl$	Cloro Gasoso
$FeSO_4 \cdot 7H_2O$	Sulfato Ferroso	$Ca(OH)_2$	Cal Hidratada
$FeSO_4 \cdot 7H_2O \cdot \frac{1}{2} Cl_2$	Clorado		
$Fe_2(SO_4)_3$	Sulfato Férrico	$NH_2Cl$	Cloramina
$CaSO_4$	Sulfato de Cálcio	$Ca(HCO_3)$	Bicarbonato de Cálcio
$MgSO_4$	Sulfato de Magnésio	$Mg(HCO_3)$	Bicarbonato de Magnésio
$(NH_4)_2SO_4$	Sulfato de Amônia	$4SiO_2 \cdot Al_2O_3 \cdot H_2O$	Bentonita
$Na_2SO_3$	Sulfito de Sódio	$NaHSO_3$	Bissulfito de Sódio
$Na_2SiO_3$	Silicato de Sódio	$CaF_2$	Fluoreto de Cálcio
$NaOH$	Hidróxido de Sódio	$Na_2SiF_6$	Fluorsilicato de Sódio
$Mg(OH)_2$	Hidróxido de Magnésio	$NaF$	Fluoreto de Sódio
$Ca(OH)_2$	Hidróxido de Cálcio	$CO_2$	Gás carbônico
$Ca(Cl)_2$	Hipoclorito de Cálcio	$H_2S$	Gás sulfídrico
$NH_4OH$	Hidróxido de Amônia	$SO_2$	Dióxido de Enxofre
$NaClO$	Hipoclorito de Sódio	$ClO_2$	Dióxido de Cloro
$CH_4$	Metano	$KMnO_4$	Permanganato de Potássio
$O_3$	Ozônio		



## INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO DE GAZA

### DECLARAÇÃO

Declaro por minha honra que esta Monografia de Trabalho de Culminação do Curso é resultado da minha investigação pessoal e da orientação do meu tutor, o seu conteúdo é original e todas as fontes consultadas estão devidamente mencionadas no texto, nas notas e na bibliografia final.

Declaro ainda que este trabalho não foi apresentado em nenhuma outra instituição para propósito semelhante ou obtenção de qualquer grau acadêmico.

Chókwè, 14 de Novembro de 2023

Atanásio Azélia Wate

(Atanásio Azélia Wate)

Lionde, Novembro 2023

## **DEDICAT ÓRIA**

A minha mãe que não teve a oportunidade de estudar até quinta classe do ensino Primário, mas hoje tornou-me Engenheiro.

**Votos de bênçãos MAMÃE.**

## AGRADECIMENTOS

Agradecer ao criador por me escolher para servir a ele neste mundo maravilhoso, animado pelo cálice da vida objetivando a busca de paz, liberdade e felicidade.

Agradecer aos meus pais Jorge Bila e Azelia Wate, pelo conforto, apoio, amor, carinho e conselhos que tenho recebido sempre.

Agradecer ao meu tutor Doutor Mário Tauzene Afonso Matangue, pela orientação, compreensão e ajuda no desenvolvimento deste trabalho de investigação. Agradeço ainda por compartilhar connosco suas obras e conhecimentos, hoje sou um jovem criativo, inovador, um pilar da ciência graças a sua paciência, força e persistência animada em nos potencializar para sermos académicos e engenheiros de qualidade. Nt: *Grande líder não é aquele que faz muitas coisas, mas sim uma coisa de qualidade - pega uma minúscula desenvolve-a, foca-se nela vai ver o resultado.*

Agradecer aos meus docentes pelo método de aprendizagem que introduziram em mim, graças a eles me tornei um Engenheiro Hidráulico Prático: Algardas Damião, Antônio Rosse, Salimo Herinques, Orlando Couve, Lateiro Salvador de Sousa, Fernando Brasão Tembe, Philipa Ncube, Moises Buduio, Cesário Cambaza, Paulo Saveca, Luis Maloa, Custodio Tacarindua, Balate, Amerácio Machava, Fenias, Eleutério, Manhique, Gramão, Agapito Jeremias. Agradecer a todos meus irmãos, tios, primos, sobrinhos, e amigos, pelo conforto, conselhos e ensino que tenho recebido de vocês sempre.

Aos meus colegas da faculdade grupo elite e platina, manos valeu por tudo, o lema é sempre seguir em frente.

Aos meus ídolos, grandes líderes da engenharia, intervenção social, cultura e arte, negocio, antropologia, astronomia, entretenimento e sociologia: Alan Walker, Chord Overstreet, Mário Tauzene Afonso Matangue, Carl Sagan, Edson Dima, Carla Mulhanga, Victor Wate, Azagaia, Mark Douglas, James Allen, João Appolinário, Maquiavel e Jacob Pétry.

A todos, o meu obrigado.

## RESUMO

A falta de água potável nas comunidades rurais mais recônditas devido ao elevado custo de implantação das estações de tratamento convencional da água para abastecimento público, desperta interesse a comunidade científica na busca de tecnologias simplificadas de tratamento de água, com uso de processos de menor desenvolvimento tecnológico, os quais sejam ambientalmente adequados, economicamente viáveis e socialmente aceitos. Este trabalho apresenta o dimensionamento e construção das diferentes linhas tecnológicas de tratamento de água em escala laboratorial que compreende tubo de venturi na mistura rápida, floculadores de sistema hidráulico de floculação constituído de 2 trechos de canalizações em série, com diâmetros crescentes no sentido do escoamento, decantador hidráulico de fluxo semihorizontal, filtros de camada dupla feitos de areia-antracito e areia- endocarpo de coco, e um clorador por difusão para a desinfecção. Tanto as linhas dispostas de unidades convencionais, assim como, as linhas dispostas de unidades simplificadas reduziram 980 NTU, valor médio de turbidez de água bruta para um valor médio de 3,79 NTU nas amostras das linhas de decantação e 0,32 NTU nas amostras das linhas de filtração. Os valores foram satisfatórios e eficientes, visto que, estão dentro dos parâmetros de potabilidade estabelecidos pelas normas NBR 12216/92 e DMM nº 180/2004.

Palavras-chave: Abastecimento de Água; Tecnologia Simplificada; Potabilidade da Água; Comunidade Rural.

## **ABSTRACT**

The lack of drinking water in the most remote rural communities due to the high cost implementation of conventional water treatment plants for supply public, arouses the interest of the scientific community in the search for simplified technologies water treatment, using less technologically developed processes, the which are environmentally appropriate, economically viable and socially acceptable. This work presents the dimensioning and construction of the different technological lines of water treatment on a laboratory scale comprising a venturi tube for rapid mixing, hydraulic flocculation system consisting of 2 sections of pipes in series, with increasing diameters in the flow direction, semi-flow hydraulic decanter horizontal, doublelayer filters made of sand-anthracite and sand-coconut endocarp, and a diffusion chlorinator for disinfection. Both the lines provided with units conventional units, as well as lines equipped with simplified units, reduced 980 NTU, average raw water turbidity value for an average value of 3.79 NTU in the samples from the decantation lines and 0.32 NTU in the samples from the filtration lines. You values were satisfactory and efficient, since they are within the parameters of potability established by standards NBR 12216/92 and DMM n° 180/2004.

**Keywords:** Water Supply; Simplified Technology; Water Potability; Rural Community.

# 1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso indispensável para a vida dos seres vivos, sem a água a terra seria um lugar não habitável. A água está presente em qualquer ser e meio seja animado ou inanimado. Na classificação da matéria a água está lá como um dos elementos que compõe a matéria. No homem mais de 70% do seu peso é constituído por água, as plantas para absorver nutrientes no solo precisam de água como condutor, não só, como também para realização das suas actividades metabólicas como a fotossíntese. Nos sectores agropecuários, nas indústrias de processamento de alimentos, bebidas, manufacturas do vidro e do plástico, refinarias do óleo, indústrias mineiras, construções de infraestruturas, actividades piscícolas, entre outros a água é a componente fundamental para prática dessas actividades (PEREIRA, 2004).

Em 1828 o tratamento de a água baseava-se apenas no processo de filtração com uso de filtros lentos, não só, como também a purificação dela com base na fervura, hoje em dia conhecido como um dos tratamentos caseiros da água. Actualmente o tratamento convencional de água para o abastecimento público é constituído pelos processos concatenados em diferentes unidades de modo a garantir a potabilidade de água (desinfeção, aeração, coagulação, floculação, decantação ou sedimentação e filtração (PATERNIANI & ROSTON, 2003).

A água não é encontrada pura na natureza, ao cair em forma de chuva, já carrega impurezas do próprio ar. Ao atingir o solo seu grande poder de dissolver e carrear substâncias altera ainda mais suas qualidades. Dentre o material dissolvido encontram-se as mais variadas substâncias como, por exemplo, substâncias calcárias e magnesianas que tornam a água dura; substâncias ferruginosas que dão cor e sabor diferentes à mesma e substâncias resultantes das actividades humanas, tais como produtos industriais, que a tornam imprópria ao consumo. Por sua vez, a água pode carrear substâncias em suspensão, tais como partículas finas dos terrenos por onde passa e que dão turbidez à mesma, pode também carrear substâncias animadas, como algas, que modificam seu sabor, ou ainda, quando passa sobre terrenos sujeitos à actividade humana, pode levar em suspensão microorganismos patogênicos (BARROS, 1995).

No presente trabalho foi feito o dimensionamento e construção em escala laboratorial das diferentes linhas de tratamento de água simplificadas e convencionais com modificações hidráulicas e estruturais, objetivando-se a avaliação da eficiência das unidades no tratamento de água, com a turbidez como parâmetro de avaliação.

Dentre as unidades de tratamento convencional de água existentes, para esse trabalho foram escolhidas unidades de ciclo completo que compreende: dois sistemas venturis como unidades

de mistura rápida e de medição de vazões, um modificado no estrangulamento com auxílio da norma NBR 12216/92 (pág. 5, alíneas 5.8.3 e 5.8.4); dois flocladores de sistema hidráulico de floclação constituído de dois trechos de canalizações em série, com diâmetros crescentes no sentido do escoamento, esses que são as unidades do tratamento de água destinadas a promover a agregação das partículas que foram formadas na mistura rápida; canal ou tubulação de água floclada a jusante dos flocladores, que encaminha a água floclada aos decantadores; dois decantadores convencionais hidráulicos (com uma estrutura disposta de decantador hidráulico vertical na entrada e hidráulico horizontal na saída), que são as unidades destinadas a removerem as partículas floclantes (flocos) produzidas nos flocladores por acção de gravidade; tubulação de água decantada que encaminha a água decantada aos filtros; filtros rápidos por gravidade de fluxo descendente, de camada filtrante dupla de areia- antracito e areia-endocarpo de coco com retrolavagem utilizando reservatório elevado, que são as unidades destinadas a remover as partículas floclantes (flocos) produzidas nos flocladores, que mesmo após a decantação ainda permanecem em suspensão e um sistema de desinfecção por difusão com adição de hipoclorito de cálcio.

As principais motivações para o desenvolvimento desta pesquisa é a ideia de poder auxiliar engenheiros ambientais, hidráulicos ou civis na elaboração de seus próprios projectos de abastecimento de água e na escolha das melhores linhas de tratamento, ganhando assim, experiência, optimização de seu tempo, conhecimento e sistematização na elaboração e execução dos mesmos.



## **1.1 OBJECTIVOS**

### **1.1.1 Objectivo Geral**

Avaliar a eficiência do desempenho das diferentes linhas tecnológicas de tratamento de água dimensionadas e construídas a escala laboratorial.

### **1.1.2 Objectivos Específicos**

- ✓ Dimensionar e construir as unidades de tratamento das principais linhas de tratamento de água;
- ✓ Determinar a qualidade de água bruta e tratada nas linhas tecnológicas de tratamento de água;
- ✓ Comparar a eficiência de cada linha tecnológica de tratamento de água.

## **1.2 Problema de Estudo e Justificativa**

A água, em alguns territórios, tem-se tornado um recurso escasso e com qualidade comprometida, devido aos processos de erosão/assoreamento dos mananciais superficiais, os lançamentos de efluentes e detritos industriais e domésticos nos recursos hídricos, o que exige investimento nas estações de tratamento e alterações na dosagem de produtos para se garantir a qualidade da água na saída das estações (FREITAS, 2001). Além do problema citado acima, observa-se que muitas das ETAs em operação não são sustentáveis, tanto do ponto de vista ambiental quanto do econômico, pois, na concepção delas, foi avaliado apenas o aspecto tecnológico, sendo desprezadas as questões ambientais e sociais. Em consequência, observa-se ETAs com: elevados custos energéticos; alta demanda de insumos químicos; complexidade operacional e manutenção que, às vezes, exigem mão-de-obra especializada, que não pode ser suprida por profissionais residentes nas regiões próximas à planta; elevados custos de implantação, o qual pode tornar a planta inviável para determinadas comunidades (LIMA & ROLLEMBERG, 2020). A partir dessas dificuldades, percebe-se a importância de sistemas de tratamento de água simplificados, os quais sejam ambientalmente adequados, economicamente viáveis e socialmente aceitos. Deve-se ressaltar que a tecnologia simplificada com uso de unidades de baixo custo não significa a obtenção de água fora do padrão de potabilidade, mas sim o uso de processos de menor desenvolvimento tecnológico, que possibilitem a produção de água tratada com atendimento aos padrões de potabilidade.

## **1.3 Hipótese de Estudo**

O tratamento tecnológico de água com uso de linhas simplificadas e de baixo custo pode garantir a produção de água tratada que atende aos padrões de potabilidade e pode ser aplicado em comunidades desprovidas de sistemas convencionais de abastecimento de água.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 CAPTAÇÃO**

Segundo (HELLER, 2006), a água está distribuída em todos subsistemas do planeta (atmosfera, litosfera, hidrosfera e biosfera), dado que, o tipo de captação é classificado conforme o meio onde ela se encontra. A captação quanto ao tipo é classificada como meteórica, superficial e subterrânea.

A captação é meteórica quando a água captada é proveniente da atmosfera pelo processo de precipitação. Ela pode ser captada usando calhas coletoras que por sua vez encaminham a água para uma cisterna, não só, também pode ser captada pelos reservatórios naturais tais como rios, córregos e lagos (HELLER, 2006).

Quando a água é retirada das fontes litológicas, ou seja, dos aquíferos ou lençõs freáticos, diz-se que a captação é subterrânea. Ela pode ser captada usando bombas automáticas e manuais de deslocamento positivo, Poços, etc (NBR 12213/92).

A captação também pode ser superficial quando a água é retirada nas fontes superficiais, tais como rios, lagos e oceanos. Ela pode ser captada com uso de máquinas geratrizes, máquinas mistas, galerias ou canais de derivação, poços de sucção, etc (NBR 12213/92).

Tsutiya 2006, afirma que a água captada pode ser usada para vários fins, tais como actividades agropecuárias (irrigação e drenagem), uso industrial, para decorações turísticas, proteção ecológica, abastecimento público, entre outros. A escolha do tipo de captação depende da disponibilidade quantitativa da água, finalidade e custos de captação.

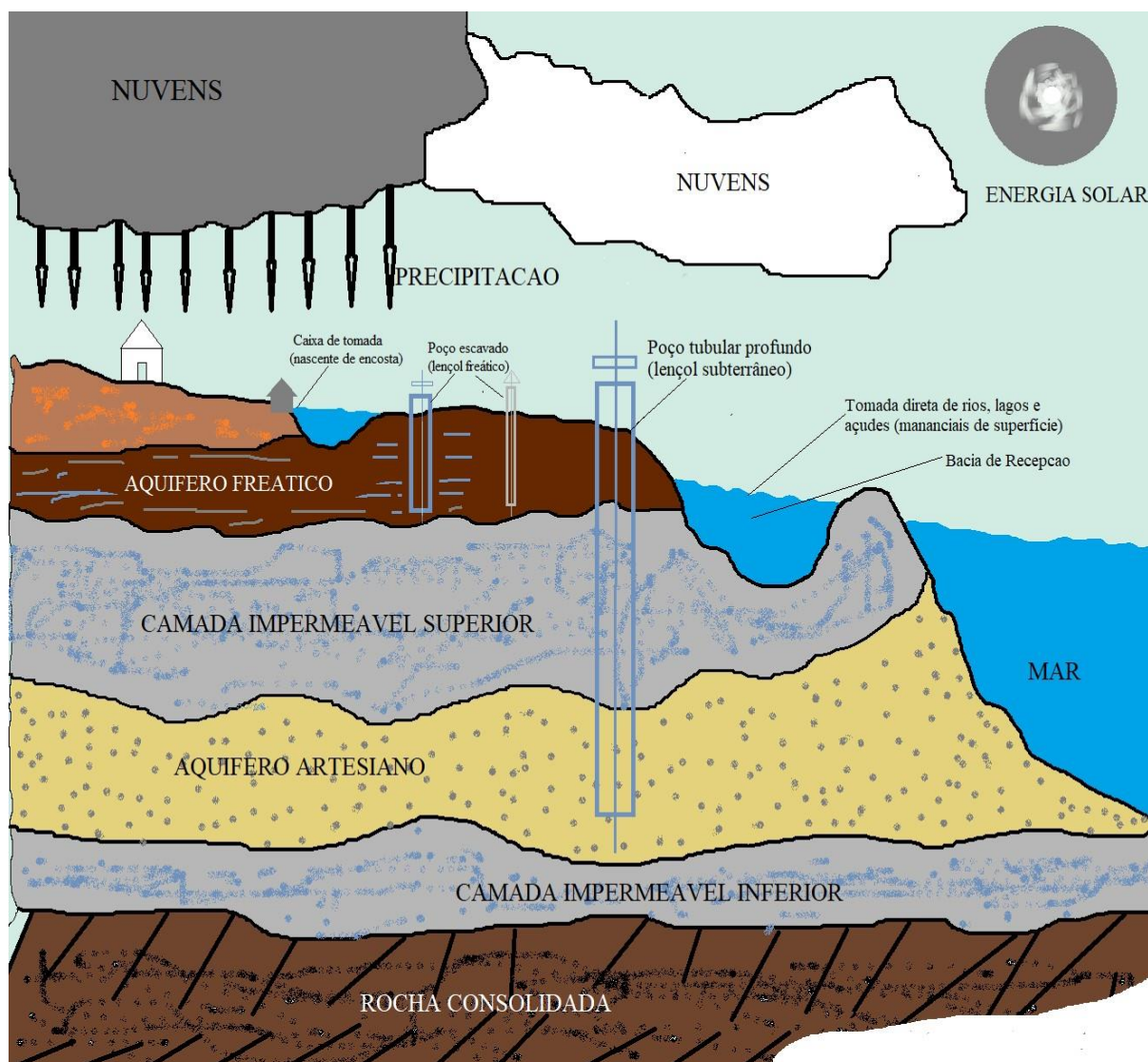
#### **2.1.1 Formas de Captação da Água**

De acordo com o manancial a ser aproveitado, podem ser utilizadas as seguintes formas de captação:

- ✓ Superfície de coleta (água de chuva);
- ✓ Caixa de tomada (nascente de encosta);
- ✓ Galeria filtrante (fundo de vales);
- ✓ Poço escavado (lençol freático);
- ✓ Poço tubular profundo (lençol subterrâneo);

✓ Tomada direta de rios, lagos e açudes (mananciais de superfície).

A figura abaixo ilustra formas de captação de água de acordo com as características hidrológicas do manancial e os equipamentos apropriados usados para cada forma. Na figura pode ser observado a caixa de tomada, uma estrutura de recepção da água da chuva (captação meteórica), poço escavado na captação de água subterrânea nos aquíferos freáticos, poço tubular profundo nos aquíferos artesianos e o processo de tomada directa nas bacias de recepção (captação superficial).



**Figura 1:** Formas de Captação da Água

**Fonte:** DACACH, 1990.

## 2.2 TRATAMENTO DA ÁGUA

De acordo com (Di BERNADO, 2005), o tratamento de água consiste na passagem da água pelos processos ou adição de produtos que garantem a remoção das partículas ou impurezas suspensas ou dissolvidas nela, a fim de enquadrar a água nos padrões de potabilidade pré estabelecidos.

### 2.2.1 Estação de Tratamento de Água

É a unidade do sistema de abastecimento de água responsável pelo enquadramento da água a ser fornecida a população nos padrões de potabilidade.

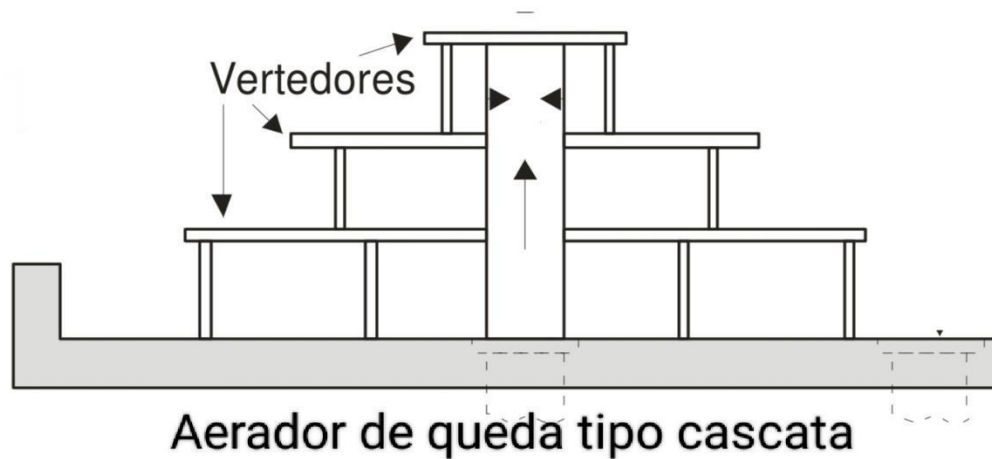
### 2.2.2 Tipos de Tratamento de Água

- **Tratamento com Simples Desinfecção:** O processo é conhecido como cloração que consiste na adição de cloro na água antes de sair do centro distribuidor para a população.
- **Tratamento Simplificado:** Consiste na adição de cloro e fluor na água antes de ser distribuída a população.
- **Tratamento Convencional:** A água bruta passa pelo tratamento completo dotado dos processos de aeração, coagulação, floculação, decantação, filtração, correção de pH, desinfecção (cloração) e fluoretação, antes da distribuição á população.
- **Tratamento Avançado:** Clarificador de contacto, flotação, pré-oxidação, membranas filtrantes e centrifugação (SCHIAVO, 2007).

### 2.2.3 Principais Processos de Tratamento de Água

#### 2.2.3.1 Aeração

De acordo com (SOUZA, 2007), a aeração é o processo através do qual água e ar são postos em contato de modo a transferir substâncias voláteis da água para o ar e substâncias solúveis do ar para a água até se obter um equilíbrio satisfatório, com a finalidade de remoção de gases em excesso na água (gás sulfídrico que causa odor desagradável na água e gás carbônico que torna a água agressiva), não só, como também para a remoção de substâncias aromáticas voláteis que causam odor e sabor (metano e cloro). Para o processo de aeração no tratamento de água são usadas unidades chamadas aeradores que podem ser de queda tipo cascata, de queda tipo tabuleiros, de repuxo e de borbulhamento.

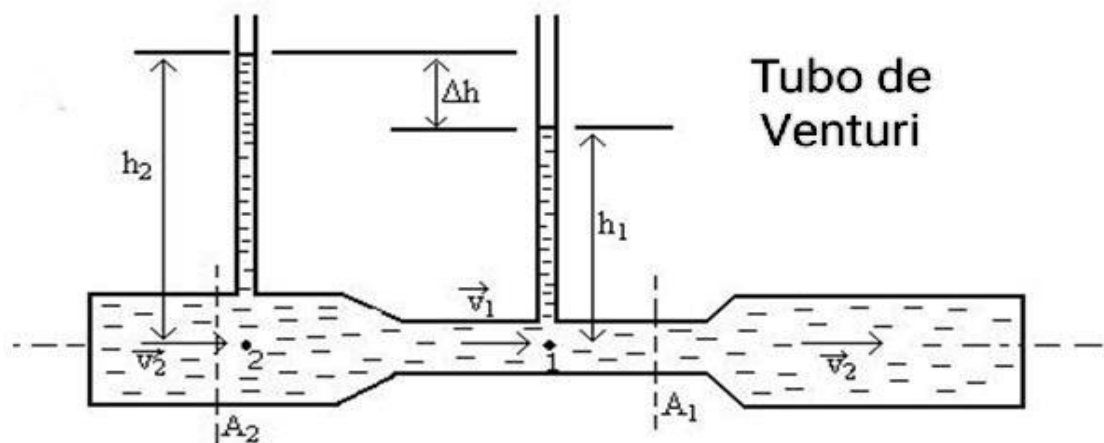


**Figura 2:** Aerador de queda tipo cascata

**Fonte:** SOUZA, 2007.

### 2.2.3.2 Mistura Rápida

Nessa etapa decorre o processo de coagulação, a água passa por uma unidade que ajusta a velocidade da água, tornando o regime de escoamento muito turbulento, facilitando assim o processo de mistura da massa líquida e do coagulante adicionado. As unidades usadas para mistura rápida compreende o medidor parshall ou calha parshall, malha difusora, vertedor, tubo de venturi, agitadores mecânicos e injectores (RODRIGO, 2018).



**Figura 3:** Tubo de venturi usado como unidade de mistura rápida

**Fonte:** VIANNA, 2002.

### **2.2.3.3 Mistura Lenta**

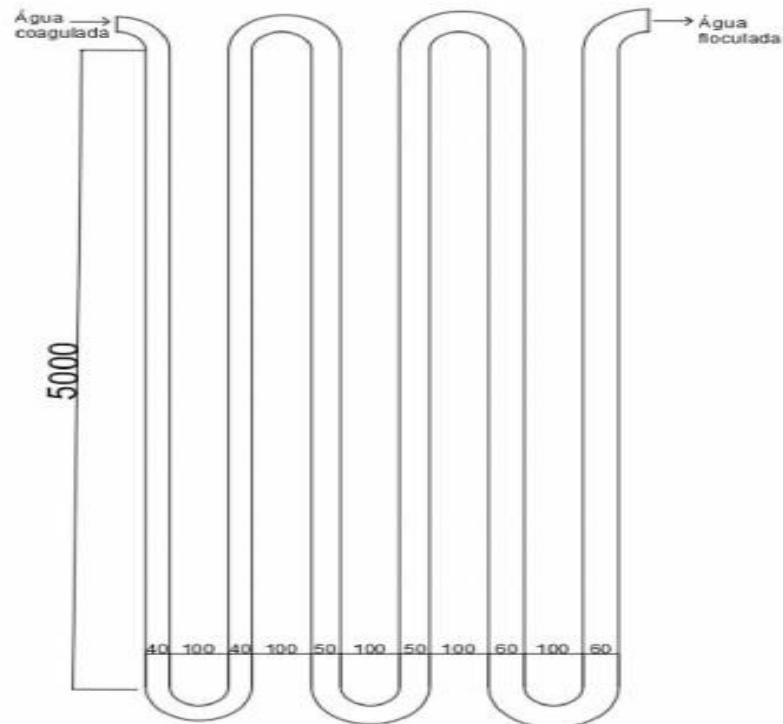
É um processo físico no qual as partículas coloidais são colocadas em contato umas com as outras, de modo a permitir o aumento do seu tamanho físico, alterando, desta forma, a sua distribuição granulométrica. Depois da dosagem de coagulante na mistura rápida a água é encaminhada para unidades de mistura lenta que irão desempenhar o papel de formação de flocos, ou seja, o catião adicionado como coagulante na mistura rápida procura se aderir com anião presente na água a ser tratada. Essa atração ou aderência irá acontecer continuamente até que o floco fique bem grande possuindo um peso específico maior do que o da água. Por conta disso o floco irá se depositar no fundo do recipiente na unidade de sedimentação (SANTOS, 2019).

A aderência dos flocos na mistura lenta acontece nas velocidades adequadas para que não se quebre, ou seja, o regime de escoamento na mistura lenta deverá aproximar ao escoamento laminar para que não ocorra a quebra do floco formado, não só, também para que as partículas façam contacto entre si, formando flocos (MENEZES, 2019).

De acordo com SOUZA (2007), existem flocladores de fluxo horizontal, onde a água assume um movimento sinuoso em relação ao plano horizontal em virtude da posição das chicanas, como também, existem flocladores de fluxo Vertical onde, a água percorre o floclador em movimentos sucessivamente ascendentes e descendentes.

VIANNA (2002), afirma que, os flocladores podem ser do tipo hidráulicos ou mecânicos onde, os flocladores hidráulicos podem ser de fluxo vertical ou horizontal constituídos de canais utilizando chicanas feitas de madeira ou concreto. Dado que, os mecanizados são constituídos de câmaras onde são instalados agitadores compostos de rotores do tipo turbinas ou paletas. Geralmente os de fluxo Vertical são utilizados para vazões baixas (Floclador COX), para vazões mais elevadas recomenda-se a utilização de flocladores de fluxo horizontal. Existem também os flocladores helicoidais que compreendem uma junção do fluxo horizontal e vertical (flocladores Alabama).

Os flocladores também podem ser constituídos de trechos de canalizações dispostos de diâmetros decrescente no sentido do fluxo (NBR 12216/92).



**Figura 4:** Floculadores constituídos de trechos de canalizações

**Fonte:** SANTOS, 2019.

#### 2.2.3.4 Decantação (Sedimentação)

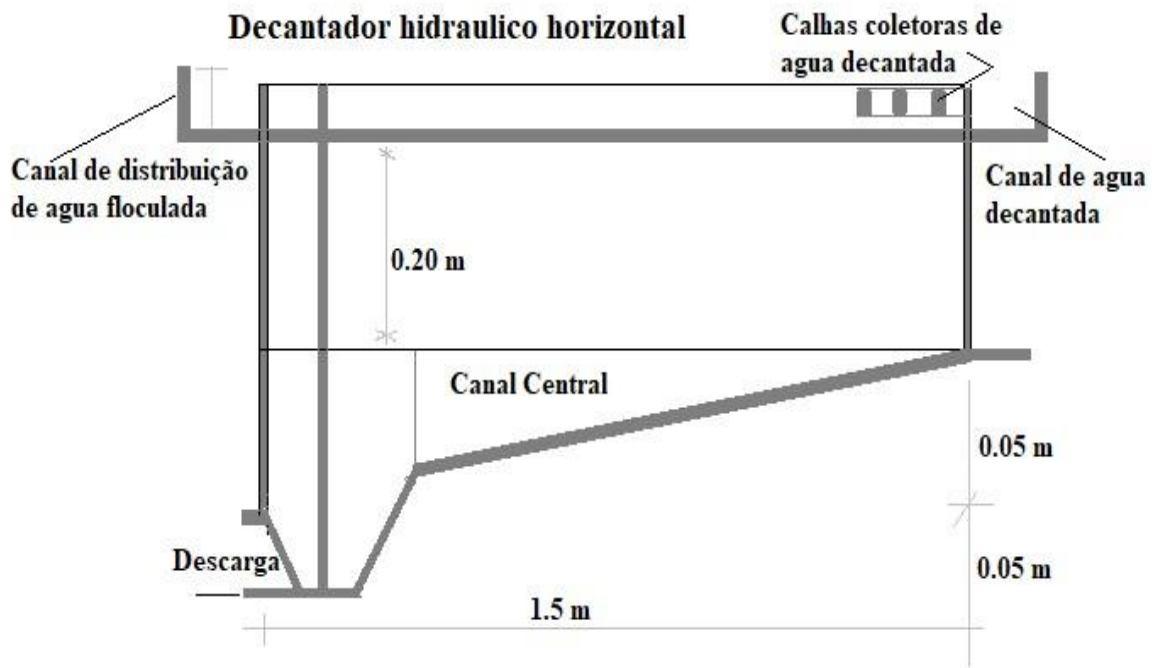
Processo de separação sólido – líquido que tem como força propulsora a acção da gravidade. Para a sedimentação dos flocos formados nos floculadores são utilizadas unidades denominadas decantadores.

A decantação é um fenómeno físico que em decorrência da acção da gravidade permite o movimento descendente das partículas suspensas em meio líquido, propiciando a clarificação da água (SILVA, 2008).

Os flocos formados na mistura lenta são encaminhados para essa unidade de decantação para serem sedimentados. A água junto com os flocos entra na unidade de decantação com um gradiente de  $20 \text{ s}^{-1}$ . Os flocos tendo-se aglomerados na floculação irão possuir um peso superior em relação a água e irão se depositar no fundo do recipiente e água fica livre na superfície e encaminhada para unidade de filtração onde serão removidas algumas partículas que escaparam na decantação, uma vez que, a decantação tem uma eficiência de 80 a 90% (FLORENÇO, 2011).



Segundo Silva (2008), o princípio da sedimentação baseia-se no facto de que qualquer partícula não coloidal, suspensa em um meio líquido em repouso e de menor massa específica, será acelerada pela ação da gravidade até que as forças de resistência viscosa e de deformação do líquido sejam iguais a resultante do peso efectivo da partícula. A partir deste momento sua velocidade descendente será constante, a qual é denominada velocidade terminal de sedimentação, ou simplesmente velocidade de sedimentação.



**Figura 5:** Decantador Hidráulico horizontal

**Fonte:** RODRIGO, 2018.

### 2.2.3.5 Processo de Filtração

Processo de separação solido-líquido utilizado para promover a remoção de material particulado presente na fase líquida.

Na filtração são retiradas as partículas que não foram sedimentadas no decantador, ou seja, partículas coloidais que conseguiram escapar no processo de sedimentação. Esse processo tem como função principal a remoção da cor aparente e turbidez cuja presença reduziria a eficácia da etapa de desinfecção na inativação dos microrganismos patogénicos (Di BERNARDO, 2004).

### 2.2.3.6 Classificação da Filtração

Segundo (NETTO & RICHTER, 1991), a filtração pode ser classificada quanto ao tipo, tratamento, sentido de escoamento, meio filtrante e controle hidráulico.

#### a) Quanto ao Tipo de Filtração

**Filtração em meio Granular** – Que compreende filtros que possui material granulométrico (areia, carvão ou pedregulho) como meio filtrante. Esses, por sua vez, podem ser lentos, rápidos e de camada profunda.

**Filtração em Membrana** – A Osmose reversa, Nanofiltração, Ultrafiltração e Microfiltração são uns dos processos de filtração em membrana.

#### b) Quanto ao Tratamento

**Convencional** – Compreende um tratamento completo onde, possui todos os processos de tratamento de água desde a captação, coagulação, floculação, sedimentação, filtração, desinfecção e água final ou tratada.

**Directa** – Nesse tratamento não tem a unidade de sedimentação. A água quando sai no processo de floculação é encaminhada directamente para processo de filtração.

**Linha** – No tratamento em linha não têm unidades de mistura lenta e sedimentação. A água sai das unidades de mistura rápida para o processo de filtração.

#### c) Quanto ao sentido de escoamento

**Filtração Descendente** – A água penetra na camada filtrante de cima para baixo.

**Filtração Ascendente** – A água bruta tem um sentido ascendente, penetrando no meio filtrante de baixo para cima.

#### d) Quanto ao Meio Filtrante

**Camada Simples** – filtro de areia ou antracito apenas como meio filtrante.

**Dupla Camada** – Possui duas camadas de material granulométrico diferente. Composto de areia e antracito para remoção de gostos e odor porque a camada de areia única não consegue vencer essas propriedades.

**Tripla Camada** – feitos de areia, antracito e gradada. O filtro possui três camadas no meio filtrante.

### e) Quanto ao controle hidráulico

**Taxa de Filtração Lenta** – Possui uma velocidade de aproximação de  $3 \text{ a } 9 \text{ m}^3/\text{m}^2 \times \text{dia}$ .

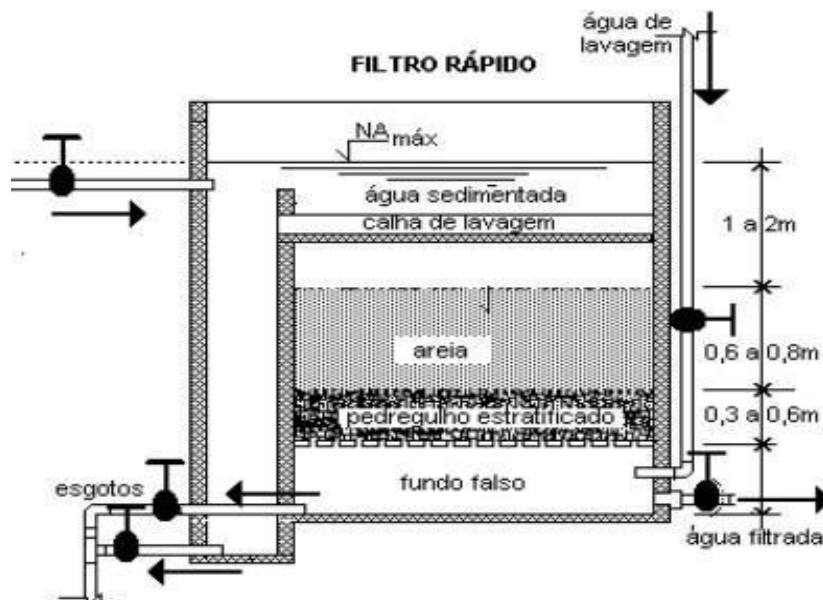
**Taxa de Filtração Rápida** – Possui uma velocidade de aproximação de  $100 \text{ a } 10^3 \text{ m}^3/\text{m}^2 \times \text{dia}$ .

### f) Quanto a Lavagem

**Lavagem Manual** – Os filtros são lavados manualmente. A lavagem manual acontece muitas das vezes nos filtros lentos de camada única.

**Automática ou Retro lavagem** – Caso especial para filtros rápidos de todas camadas. A lavagem automática acontece no sentido contrário da filtração da água, ou seja, se o fluxo de água bruta é ascendente a lavagem será descendente e vice-versa (PAULO, 2019).

Segundo (ABNT 12216, 1992), as camadas são propositalmente colocadas de cima para baixo em ordem crescente da densidade, pois na retrolavagem depois da expansão do material filtrante e fechado o registro da entrada de água de lavagem o material irá descer em função da sua densidade, ou seja, a camada mais densa irá descer primeiro em seguida a camada intermediária e por fim a camada menos densa.



**Figura 6:** Filtro rápido de tripla camada e retrolavagem

**Fonte:** PAULO, 2019.

### 2.2.3.7 Processo de Desinfecção

Consiste na adição de substâncias químicas como flúor ou cloro no tanque de contacto para a inativação de microrganismos sejam vírus e bactérias impedindo a sua multiplicação na água. O propósito do processo de desinfecção é eliminar, de modo econômico, os microrganismos patogênicos presentes na fase líquida (Brasília: Secretaria de Vigilância em Saúde, 2006 – Série B). A desinfecção pode ocorrer em diferentes unidades, das quais têm-se: Tanque de Contacto; Clorador por difusão; Clorador de pastilhas e Tubulação.



**Figura 7:** Clorador por difusão usado no processo de desinfecção da água

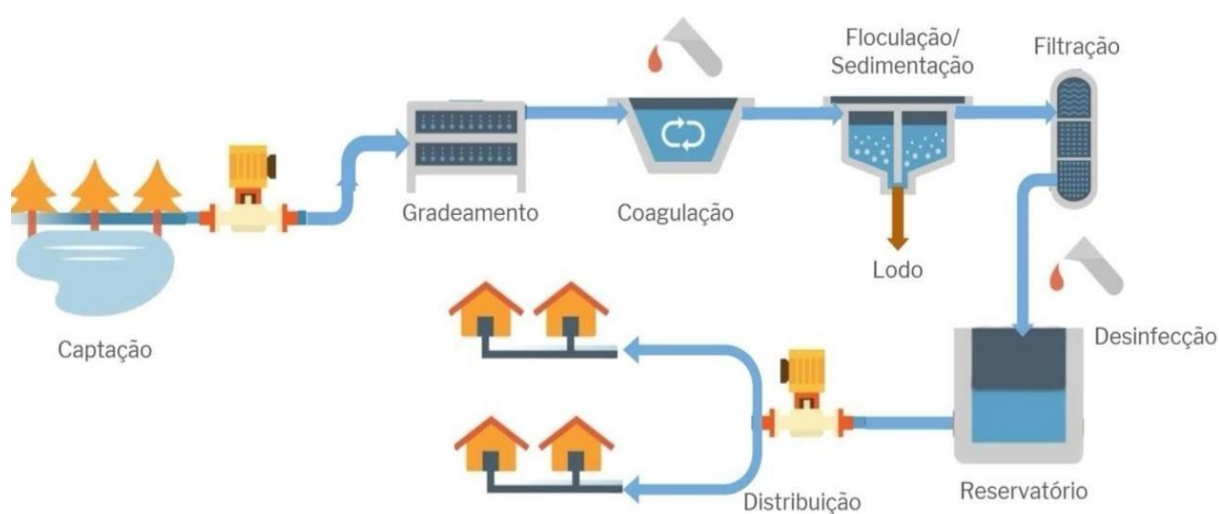
**Fonte:** (Brasília: Secretaria de Vigilância em Saúde, 2006 – Série B).

## 2.3 TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO DE ÁGUA

De acordo com (NETTO, 1987), a limitação da disponibilidade de água doce em condições adequadas para o consumo humano tem estimulado a pesquisa e o desenvolvimento de tecnologias para otimizar o consumo de água nas indústrias, na agricultura, nos centros urbanos e rurais, prevenindo o desperdício e a contaminação dos ambientes hídricos.

O tratamento pode ser domiciliar, simples, convencional ou avançado. As tecnologias de tratamento empregadas variam em função do tipo de água. Quanto mais vulnerável e comprometida por fontes de poluição pontual (lançamento de esgotos municipais e industriais) e difusa (atividades agrícolas que lançam pesticidas no ambiente), maior é a concentração de impurezas presentes na água e, portanto, maior é a classe do corpo hídrico, necessitando de tratamento mais complexo e de custo mais alto (DACACH, 1990).

A tecnologia empregada para o tratamento será determinada em função das características físico-químicas, químicas e microbiológicas dos mananciais. Assim como os custos de tratamento e pessoal qualificado para operar as plantas de potabilização (Brasília: Secretaria de Vigilância em Saúde, 2006 – Série B).



**Figura 8:** Estação de tratamento convencional da água

**Fonte:** VIANNA, 2002.

Para a obtenção da água de melhor qualidade durante o processo de tratamento, certos parâmetros são observados: Parâmetro físico da água, parâmetro químico da água e o parâmetro biológico da água a ser tratada. São esses parâmetros da água que respondem questões ligadas ao tipo de tratamento a ser usado, as unidades ou dispositivos necessários em cada etapa ou processo de tratamento (estruturação hidráulica do sistema). A tabela que segue mostra as características de cada parâmetro e sua importância no tratamento de água.

**Tabela 1** - Parâmetros a serem considerados na qualidade das águas

<b>Parâmetros a Serem Considerados na Qualidade das Águas</b>		
<b>Parâmetros</b>	<b>Classificação</b>	<b>Características</b>
<b>Físicos</b>	Turbidez	É um parâmetro físico ocasionada pela presença de partículas de matéria inorgânica, protozoários, bactérias e plâncton na água constituindo flocos com diâmetros superiores a 1 $\mu$ (1 micron).
	Cor	A cor é provocada pela presença de impurezas na água que se encontram em suspensão fina, em estado coloidal ou ainda em solução, constituindo partículas com diâmetros variando de 1m $\mu$ (1 milimicron) a 1 $\mu$ (1 micron) e só podem ser observadas através de microscópios de grande capacidade.
	Odor	Uma das características estéticas da água. O mau cheiro da água pode ser provocado pela presença de gás sulfídrico (H <sub>2</sub> S), cloro (Cl <sub>2</sub> ), ou ainda metano (CH <sub>4</sub> ).
	Sabor	É outra característica estética da água. A presença de sais minerais, metano, cloro, além de matéria orgânica provoca alteração no sabor da água.
<b>Químicos</b>	Alcalinidade	A alcalinidade de uma substância é produzida por impurezas que podem reagir com os ácidos provocando a sua neutralização. Assim a alcalinidade da água é definida como sendo a sua capacidade de neutralizar ácidos fortes, sendo devido a presença de: Hidróxido de sódio, Hidróxido de magnésio, Hidróxido de cálcio,

		Carbonato de cálcio, Carbonato de magnésio, Carbonato de sódio, Carbonato de potássio, Bicarbonato de cálcio, Bicarbonato de magnésio.
	Dureza	A dureza da água é caracterizada pela presença de substâncias que reagem com a água, causando a precipitação do sabão e impedindo a formação de espuma. Tais substâncias são: Bicarbonato de cálcio, Bicarbonato de magnésio, Sulfato de cálcio, Sulfato de magnésio.
	Potencial Hidrogeniônico	O potencial hidrogeniônico, caracteriza o grau de acidez ou de basicidade, de uma solução, expressos em uma escala do pH que vai de 0 a 14. Quando o pH é igual a 7, ocorre a neutralidade, já que as concentrações de H <sup>+</sup> e de OH <sup>-</sup> são iguais. Já um valor do pH superior a 7, indica uma solução básica ou alcalina, ocasião em que os íons hidróxido superam os íons hidrogênio. Para um valor do pH inferior a 7, fica caracterizada uma solução ácida com a quantidade de íons hidrogênio superior ao dos íons hidróxido.
	Corrosividade	Caracterizada pela presença de gás carbônico na água (CO <sub>2</sub> ), ácidos diluídos, cloretos, etc.
<b>Biológicos</b>	Microorganismos	A presença de coliformes na água caracteriza sua contaminação, além de bactérias, protozoários.

**Fonte:** RICHTER & NETTO, 1991.

**Tabela 2** - Produtos Químicos Empregados no Tratamento de Água

<b>Produtos Químicos Empregados no Tratamento de água</b>	
<b>Tipos de Tratamento</b>	<b>Produtos Químicos Empregados</b>
Coagulação	Sulfato de Alumínio, Cloreto Férrico, Sulfato Ferroso, Sulfato Ferroso Clorado, Sulfato Férrico, Aluminato de Sódio.
	<b>Auxiliares da Coagulação</b> – Carbonato de Cálcio, Gás Carbônico, Polieletrólitos, Bentonita, Silicato de Sódio, Gás Carbônico.
Abrandamento	Carbonato de Sódio, Gás Carbônico, Cal hidratada, Cloreto de Sódio.
Controle da Corrosão	Carbonato de Sódio, Polifosfatos de Sódio, Hidróxido de Sódio, Cal Hidratada.
Ajuste do pH	Cal hidratada, Hidróxido de Sódio, Gás Carbônico, Carbonato de Cálcio, Ácido Clorídrico, Ácido Sulfúrico, Carbonato de Sódio.
Oxidação	Cloro, Hipoclorito de Sódio, Permanganato de Potássio, Hipoclorito de Cálcio, Dióxido de Cloro, Ozônio.
Desinfecção	Cloro Gasoso, Hidróxido de Amônia, Hipoclorito de Cálcio, Amônia Anidra, Permanganato de Potássio Sulfato de Amônia, Ozônio, Hipoclorito de Sódio.
Correção de Odor e Sabor	Dióxido de Cloro, Cloro, Carvão Ativado.
Ajuste do Teor de Flúor	Ácido Fluorssilícico, Fluoreto de Sódio, Fluoreto de Cálcio, Fluorsilicato de Sódio.
Controle de Substâncias Orgânicas	Cloraminas e Dióxido de Cloro.
Remoção do Excesso de Cloro	Dióxido de Enxofre, Carvão Ativado, Sulfito de Sódio, Bisulfito de Sódio.

**Fonte:** SOUZA, 2007.



### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Localização da área do estudo

O distrito de Chókwè está situado a Sul da província de Gaza, no curso médio do rio Limpopo, tendo limites a Norte o rio Limpopo que o separa dos distritos de Massingir, Mabalane e Guija, a Sul o distrito de Bilene e o rio Mazimuchope que o separa do distrito Magude, a Este confina com os distritos de Bilene e Chibuto e a Oeste com os distritos de Magude e Massingir (MAE, 2014).

O Distrito de Chókwè é uma área cerca de 1864km<sup>2</sup>, apresentava em 2007 uma população com uma densidade populacional de cerca de 1.200 hab/km<sup>2</sup>, é o segundo maior centro urbano da Província de Gaza e previa-se que o distrito até 2020 pudesse atingir cerca de 223 mil habitantes (MAE, 2014).

O clima do Distrito é denominado pelo tipo de semiárido (seco de savana), onde a precipitação varia de 500 a 800 mm, confirmando o gradiente do litoral para o interior, enquanto a evapotranspiração potencial de referência (ET<sub>o</sub>) é da ordem dos 1400 a 1500 mm (MAE, 2014).

A instalação da estação de tratamento de água em escala laboratorial foi feita no Posto Administrativo de Lionde, concretamente no Instituto Superior Politécnico de Gaza, na área de exposição de curso de Engenharia Hidráulica Agrícola e Agua Rural, no meio entre gabinete dos docentes e casa de banho dos estudantes.



**Figura 9:** Mapa de Localização da área e do local de estudo

### 3.2 CONCEPÇÃO DE SISTEMA DE TRATAMENTO DE ÁGUA COM USO DE DIFERENTES UNIDADES SIMPLIFICADAS E CONVENCIONAIS

O sistema foi desenvolvido obedecendo as normas NBR 12216/92, ABNT - NBR 12213/92, ABNT - NBR 6502/95 e DMM nº 180/2004. Para o manancial de água bruta foi feito um reservatório escavado, onde foi misturado esterco bovino, suíno e água da torneira do ISPG (que foi submetida a teste de turbidez que apresentou uma média de 0,6 NTU). Após a mistura foi medida a turbidez de água bruta e apresentou a média de 980 NTU. Para elevação da água foi usada uma eletrobomba de TAIFU com a vazão máxima de 50 litros por hora. Na aeração foi usado um Aerador de queda do tipo cascata com duas plataformas circulares dispostas de ordem decrescente.

Na mistura rápida foi usado um sistema venturi dimensionado sem modificações e um sistema venturi dimensionado e com modificações no estrangulamento segundo a norma NBR 12216/92 (pág. 5, alíneas a, b, c e d dos números 5.8.3 e 5.8.4). Dois flocladores de sistema hidráulico de floclação constituído de 2 trechos de canalizações em série, com diâmetros crescentes no sentido do escoamento. Dois decantadores convencionais hidráulicos (com uma estrutura disposta de decantador hidráulico vertical na entrada e hidráulico horizontal na saída). Dois filtros rápidos por gravidade de fluxo descendente, de camada filtrante dupla de areia- antracito e areia-endocarpo de coco com retrolavagem utilizando reservatório elevado e um sistema de desinfecção por difusão.

A estrutura do sistema permitiu que fosse possível a instalação de doze (12) linhas de tratamento de água com diferentes unidades simplificadas e convencionais estruturadas da seguinte forma:

- 1 Linha** – (*Aerador de cascata – tubo de venturi normal – decantador*) - procurava-se saber a relevância do uso de tubo de venturi normal sem modificações na mistura do coagulante para o tratamento de água (ADTVNF-).
- 2 Linha** – (*Aerador de cascata – tubo de venturi modificado – decantador*) - procurava-se saber a relevância do uso de tubo de venturi modificado na mistura do coagulante para o tratamento de água (ADTVMF-).
- 3 Linha** – (*Aerador de cascata – tubo de venturi normal – floclador – decantador*) - procurava-se saber a qualidade de água com uso de tubo de venturi normal e com sistema de floclação (ADTVNF+).

- 4 Linha** – (*Aerador de cascata – tubo de venturi modificado – floculador – decantador*) - procurava-se saber a qualidade de água com uso de tubo de venturi modificado e com sistema de floculação (ADTVMF+).
- 5 Linha** – (*Aerador de cascata – tubo de venturi normal – decantador – filtro de Antracito*) - procurava-se saber a qualidade de água no filtro de areia-antracito com uso de tubo de venturi normal sem modificações e sem sistema de floculação (AFaTVNF-).
- 6 Linha** – (*Aerador de cascata – tubo de venturi modificado – decantador – filtro de Antracito*) - procurava-se saber a qualidade de água no filtro de areia-antracito com uso de tubo de venturi modificado e sem sistema de floculação (AFaTVMF-).
- 7 Linha** – (*Aerador de cascata – tubo de venturi normal – floculador – decantador – filtro de Antracito*) - procurava-se saber a qualidade de água no filtro de areia-antracito com uso de tubo de venturi normal sem modificações e com sistema de floculação (AFaTVNF+).
- 8 Linha** – (*Aerador de cascata – tubo de venturi modificado – floculador - decantador – filtro de Antracito*) - procurava-se saber a qualidade de água no filtro de areia-antracito com uso de tubo de venturi modificado e com sistema de floculação (AFaTVMF+).
- 9 Linha** – (*Aerador de cascata – tubo de venturi normal – decantador – filtro de coco*) - procurava-se saber a qualidade de água no filtro de areia-coco com uso de tubo de venturi normal sem modificações e sem sistema de floculação (AFcTVNF-).
- 10 Linha** – (*Aerador de cascata – tubo de venturi modificado – decantador – filtro de coco*) - procurava-se saber a qualidade de água no filtro de areia-coco com uso de tubo de venturi modificado e sem sistema de floculação (AFcTVMF-).
- 11 Linha** – (*Aerador de cascata – tubo de venturi normal – floculador - decantador – filtro de coco*) - procurava-se saber a qualidade de água no filtro de areia-coco com uso de tubo de venturi normal sem modificações e com sistema de floculação (AFcTVNF+).
- 12 Linha** – (*Aerador de cascata – tubo de venturi modificado – floculador - decantador – filtro de coco*) - procurava-se saber a qualidade de água no filtro de areia-coco com uso de tubo de venturi modificado e com sistema de floculação (AFcTVMF+).

### 3.3 DIMENSIONAMENTO E CONSTRUÇÃO DAS UNIDADES DE TRATAMENTO DAS PRINCIPAIS LINHAS DE TRATAMENTO DE ÁGUA

#### 3.3.1 Dimensionamento da fonte de alimentação (Manancial Abastecedor)

Adotada uma vazão do projecto de 10 l/min, foi feito um reservatório escavado sem revestimento no solo fraco argiloso como fonte de alimentação com 1 m diâmetro e profundidade de 1.5 m. Durante o funcionamento do sistema fazia-se restabelecimento do reservatório em cada uma hora e meia.



**Figura 10:** Reservatório escavado usado como fonte de alimentação

$$A_M \times 4 \quad V_M \quad A_M \times d \quad Q \quad T$$

Onde:  
 $A_M$  - Área do  
 $V_M$  - Volume do  
 $Q$  - Vazão do

**Equação 1:** Dimensionamento do reservatório escavado

**Fonte:** NETTO, 1998.

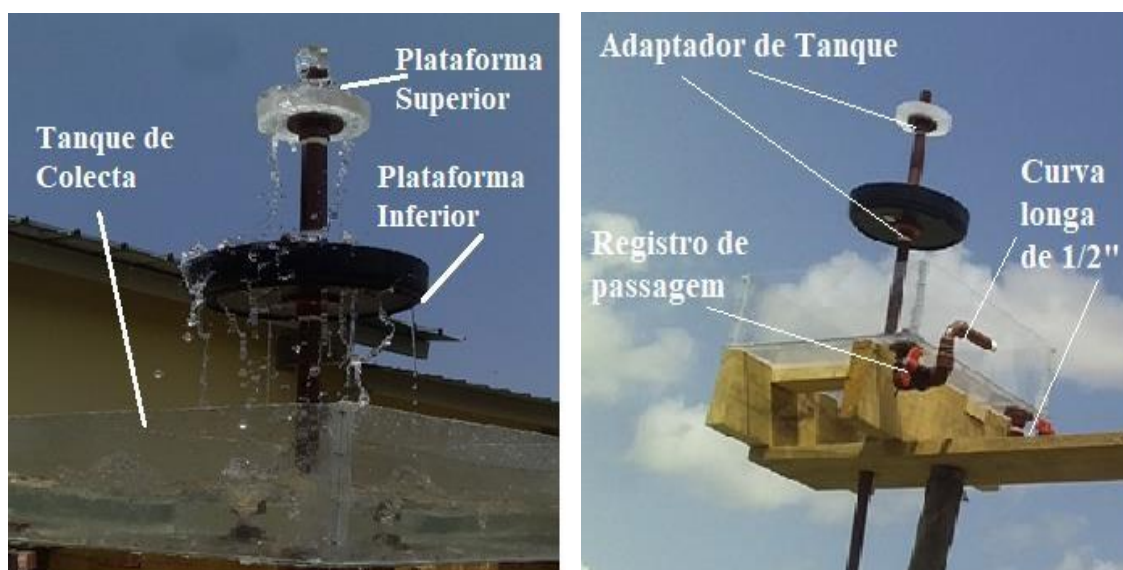
### 3.3.2 Dimensionamento do conjunto de elevação de água bruta



**Figura 11:** Eletrobomba e os acessórios instalados na fonte de captação

### 3.3.3 Dimensionamento das unidades de aeração e o tanque de coleta de água aerada

Foi usado acrílico de 3 mm de espessura, silicone e cola quente para montagem e colagem do tanque de coleta de água aerada, para plataformas foram usados recipientes de diâmetro de 25 cm para plataforma inferior e diâmetro de 8 cm para plataforma superior, para conexões foram usados 03 adaptadores de tanque IPS roscáveis de 3/4", 01 união simples de 3/4" e 02 Tubos IPS roscáveis de 3/4" com um comprimento de 20 cm.



**Figura 12:** Aerador e o tanque de coleta de água aerada instalados no sistema

### **Parâmetros do Projecto**

Aerador de queda tipo cascata

Vazão do Projecto =  $14.4 \frac{m^3}{dia}$

Número de plataformas = 02

### **Plataformas**

Diâmetro da plataforma inferior = 25cm

Diâmetro da plataforma superior = 8cm

### **Equação**

$$S = \pi \times \frac{D^2}{4}$$

$$S = \frac{Q_p}{TXA}$$

### **Tanque de Colecta de água aerada**

Geometria quadrada largura = 50 cm

$$A_T = l^2$$

$$A_T = \frac{Q_p}{TXA}$$

**Equação 2:** Dimensionamento das plataformas de aeração e tanque de colecta

**Fonte:** SOUZA, 2007.

### **3.3.4 Dimensionamento dos orifícios que levam a água de tanque de coleta de água aerada para unidades de mistura rápida**

Para conexão e controlo da vazão foram usados 02 adaptadores de tanque roscáveis de  $\frac{3}{4}$  polegadas, 02 niplos IPS roscáveis de  $\frac{3}{4}$  polegadas, 02 curvas IPS de  $\frac{3}{4}$  polegadas e 02 registros IPS de  $\frac{3}{4}$  polegadas.



**Figura 13:** Orifício inferior esquerdo e direito no tanque de coleta de água aerada

<b>Parâmetros de Projecto</b>	Diâmetro do orifício = 3/4" Vazão de projecto = $14.4 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}}$ Número de orifício : 02 Sendo duas linhas a vazão será dividida para cada linha:	<b>Equação</b> $Q_{\text{linha}} = \frac{Q_{Gp}}{2}$ $A_{\text{orif}} = \pi \times \frac{D_{\text{orif}}^2}{4}$ $Q_{\text{linha}} = v_{\text{orif}} \times A_{\text{orif}}$
-------------------------------	--	--

**Equação 3:** Dimensionamento dos orifícios de tanque de colecta de água aerada

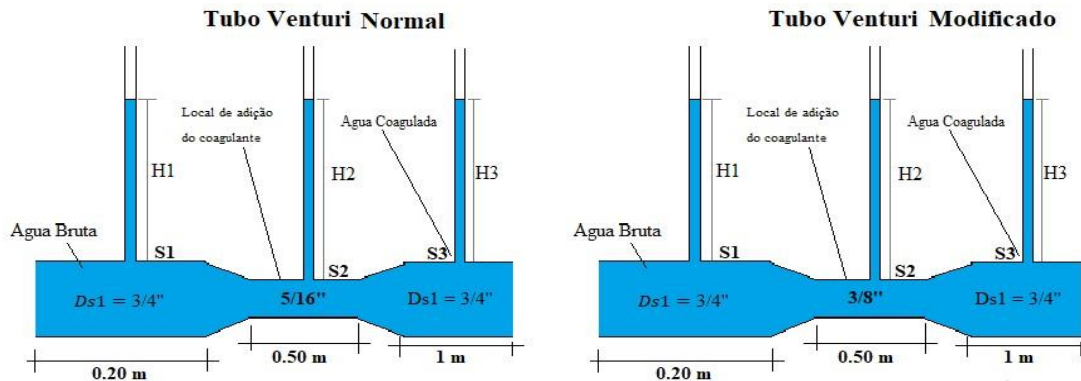
**Fonte:** LIMA, 2020.

### 3.3.5 Dimensionamento do Tubo de Venturi como unidade de mistura rápida

Foi usado um sistema hidráulico de Mistura Rápida, efectuada em trecho da tubulação de chegada de água bruta, provida de sistema Venturi (Tubo de Venturi). Foi usado mangueira de nível cristal flexível de diâmetro de 5/16" e uma espessura de 1.5 mm na secção de estrangulamento (secção 2), um tubo IPS de 3/4" na entrada de água para mistura rápida (secção 1) e um tubo IPS de 3/4" na saída de água coagulada (secção 3).

Segundo Di Bernardo, para tubulações em estações de tratamento de água, recomenda-se adotar por segurança o valor do coeficiente de atrito (f) igual à 0.03, para a água o peso específico é igual à 1000 kgf/m<sup>3</sup>, e o coeficiente de viscosidade dinâmica igual à 0.0001029 kgf/m<sup>2</sup>.

O dimensionamento serviu para as duas linhas de tratamento na secção 1 e secção 3, com as modificações na secção 2 “zona estrangulamento”, onde foi adotado diâmetro interno de 5/16” para linha 1 (tudo de venturi normal) e 3/8” para linha 2 (tubo de venturi modificado).



**Figura 14:** Desenho esquemático do tubo de venturi usado como unidade de mistura de coagulantes no tratamento de água

$$Q_{linha} = 8.33 \times 10^{-5} \frac{m^3}{s}$$

**Parâmetros**  
 Coeficiente de atrito  $f = 0.03$   
 Peso específico  $\gamma = 1000 \frac{kgf}{m^3}$

Viscosidade dinâmica  $\mu = 0.0001029 \frac{kgf}{m^2}$

Aceleração da gravidade  $g = 9.81 \frac{m}{s^2}$

**Secção 1**

Diâmetro do tubo = 3/4"  
 Comprimento do tubo = 0.20 m

**Secção 2 da Linha 1**

Diâmetro da Mangueira de Nivel = 5/16"  
 Comprimento de 0.5 m

**Secção 2 da Linha 2**

Diâmetro da Mangueira de Nivel = 3/8"  
 Comprimento de 0.5 m

**Secção 3**

Diâmetro do tubo = 3/4"  
 Comprimento do tubo = 1 m

**Equação**

$$32 \times G^1 \times \sqrt{\frac{a^3}{3 \times 1 \times \times}}$$

$$A_1 \times 4$$

$$v_1 \times A_1$$

$C_1 \times$

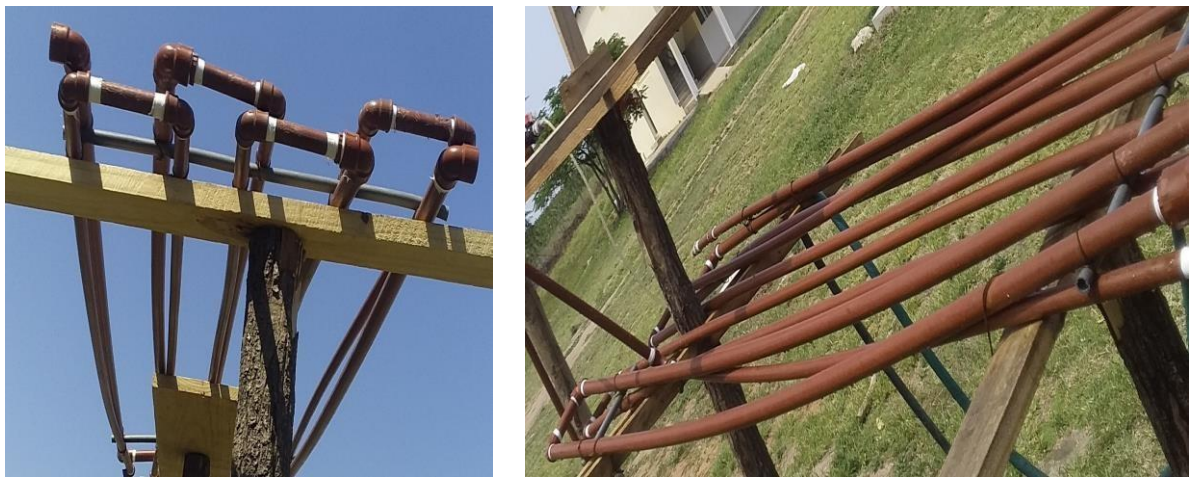
**Equação 4:** Dimensionamento de unidades de mistura rápida

Fonte: SANTOS, 2019.



### 3.3.6 Dimensionamento de dois trechos de canalizações em série, com diâmetros crescentes no sentido do escoamento como unidades de mistura lenta no processo de floculação

Foi usado sistema hidráulico de floculação constituído de 2 trechos de canalizações em série, com diâmetros crescentes no sentido do escoamento. Para a unidade de floculação, foram mantidos comprimentos iguais de 10 metros para cada trecho, visando facilitar a construção dos floculadores. Considerando os parâmetros de projecto recomendados (NBR 12216/92), foi aplicada a mesma sequência de cálculos da unidade de mistura rápida. Para instalação do sistema de floculação usou-se: tubos IPS de 1/2" e 3/4", curvas de noventa graus com diâmetro interno de 1/2" e 3/4" e uniões de redução de 3/4" para 1/2".



**Figura 15:** Sistema de floculação constituído de dois trechos de canalizações ligados em serie

#### Parâmetro

$Q_{linha} = 8.33 \times 10^{-5} \frac{m^3}{s}$   
 Numero de trecho = 02  
 Diâmetro de trecho 1 = 1/2"  
 Diâmetro de trecho 2 = 3/4"  
 Comprimento para cada trecho = 10 m  
 Coeficiente de atrito  $f = 0.03$   
 Peso específico  $\gamma = 1000 \frac{kgf}{m^3}$   
 Viscosidade dinâmica  $\mu = 0.0001029 \frac{kgf}{m^2}$   
 Aceleração da gravidade  $g = 9.81 \frac{m}{s^2}$

#### Primeiro Trecho 1/2" Segundo Trecho 3/4"

#### Equação

$$G_{t1} = \sqrt{\frac{32 \times \gamma \times f \times Q_{linha}^3}{\mu \times g \times \pi^3 \times D_{t1}^7}}$$

$$A_{t1} = \pi \times \frac{D_{t1}^2}{4}$$

$$Q_{linha} = v_{t1} \times A_{t1}$$

$$C_{t1} = v \times TDH$$

**Equação 5:** Dimensionamento da tubulação de floculação

**Fonte:** SANTOS, 2019.

### 3.3.7 Dimensionamento das unidades de sedimentação (Decantadores)

Foi dimensionado decantadores convencionais hidráulicos (com uma estrutura disposta de decantador hidráulico vertical na entrada e hidráulico horizontal na saída), que são as unidades destinadas a removerem as partículas floculantes (flocos) produzidas nos floculadores por acção de gravidade. Para montagem dos decantadores foi usado vidro - acrílico de 3 mm.



**Figura 16:** Dois decantadores instalados no sistema de tratamento de água para consumo humano

<p><b>Parâmetro</b></p> $Q_{linha} = 8.33 \times 10^{-5} \frac{m^3}{s}$ $Q_{linha} = 7.2 \frac{m^3}{dia} = 0.3 \frac{m^3}{h}$ $V_s = TAS = 19 \frac{m^3}{m^2 \times dia}$ <p>Comprimento = 1.10 m Largura = 0.5 m Profundidade = 0.25 m</p> <p><b>Equação</b></p> $A_d = C \times L$ $V_s = TAS = \frac{Q_{linha}}{A_d}$ $\theta_h = TDH = \frac{V_d}{Q_{linha}}$ $V_h = \frac{Q_{linha}}{pfd \times L}$ $R_h = \frac{pfd \times L}{(L + 2 \times pfd)}$ $R_e = \frac{V_h \times R_h}{v}$	<p><b>Cortina Difusora</b></p> <p><b>Equação</b></p> $A_{furo} = \frac{Q_{linha}}{V_p}$ $V_{orif} = \frac{Q_{linha}}{Ad \times total}$ <p><b>Gradiente de velocidade nos orifícios</b></p> $D_h = 4 \times \frac{(B \times h)}{(B + 2h)}$ $R_e = \frac{V_{orif} \times D_h}{v}$ $f = \frac{0.25}{1 \left[ \log \left( \frac{e}{3.7} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2}$ $J = \frac{f \times V_{orif}^2}{D_h \times 2g}$ $G = \sqrt{\frac{\gamma \times V_{orif} \times J}{u}}$
---	--

**Equação 6:** Dimensionamento das unidades de sedimentação

**Fonte:** RODRIGO, 2018.

### 3.3.8 Dimensionamento das unidades de filtração

Foi dimensionado filtro convencional rápido granular de tripla camada com areia, carvão e pedregulho como meio filtrante. Sentido de escoamento descendente e taxa de filtração rápida com uma velocidade de aproximação de  $144 \text{ m}^3/\text{m}^2 \times \text{dia}$ .

O filtro foi feito de chapa metálica obtida no mercado de Chokwé, com auxílio da rebarbadora fez-se os cortes da chapa para obtenção das medidas necessárias e fez-se a solda com elétrodos. Disposto de três orifícios de  $\frac{3}{4}$  polegadas, correspondentes a saída de água filtrada, entrada de água de lavagem do filtro e a saída de água de lavagem ou descarga.

Instalados no filtro três adaptadores de tanque roscáveis de  $\frac{3}{4}$  polegadas de diâmetro interno, três tubos IPS de  $\frac{3}{4}$  polegadas com um comprimento de 10 cm e três registros ou válvulas de passagem roscáveis de  $\frac{3}{4}$  polegadas para o controlo da água filtrada, água de lavagem e água de descarga.



#### Parâmetro

$$Q_{linha} = 0.0001666 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$Q_{linha} = 14.4 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}} = 0.6 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Comprimento

do filtro = 1 m

Largura do filtro = 0.10 m

Profundidade da lâmina líquida = 0.10 m

Filtros de dupla camada areia-antracito

Filtros de dupla camada casca areia-

$$\text{de coco } \frac{Q_p}{A_f} = 144 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \times \text{dia}}$$

Taxa de filtração =

Lavagem com água em contra-corrente

Número de unidades de sedimentação = 02

#### Altura Total do Filtro

Altura do fundo falso = 0.10 m

Altura de suporte = 0.10 m

Altura da camada de areia = 0.25 m

Altura da camada de antracito = 0.20 m

Altura de expansão = 0.10 m

Altura de água = 0.40 m

Ajuste = 0.10 m

$$H_t = 1,25 \text{ m}$$

**Figura 17:** Filtro metálico hidráulico de

**Equação 7:** Dimensionamento da unidade fluxo descendente instalado no sistema de de filtração tratamento de água

### 3.3.9 Preparação do Material Filtrante

**Areia Filtrante** - foi feito peneiramento usando três crivos metálicos (850 MIC, 600 MIC e 425 MIC), para obtenção do diâmetro efetivo de 0.425 mm da areia bruta que foi extraída na margem do rio Limpopo concretamente na ponte do distrito de Guijá, província de Gaza. Após o peneiramento a areia foi submetida a uma lavagem com água limpa, depois deixada secar em estufa durante 3 dias antes de entrar no filtro, conforme recomenda a norma NBR 12216.



**Figura 18:** Peneiramento de areia usada filtro

**Pedregulho** – (camada de suporte para filtro), foi obtido no rio Limpopo em Guijá. Sofreu seleção manual, lavado e deixado secar em estufa durante 3 dias.

**Antracito** – foi obtido no FIPAG de Maxixe na estação de tratamento de água da cidade de Maxixe – Inhambane, foi encontrado em condições ideais para ser usado no filtro, no laboratório de ISPG apenas foi feito o peneiramento para confirmação do diâmetro efetivo de 1.2 mm. Para confirmação do diâmetro efetivo do filtro foram usados crivos de 850 MIC, 1.2 mm e 2 mm.

### 3.4 Endocarpo de Coco usado como carvão ativado no processo de filtração

O endocarpo de coco foi obtido no mercado de Chókwé, foi submetido ao processo de ativação onde transformou-se em carvão ativado.

Inicialmente o resíduo foi lavado em água quente, até que a água se tornasse límpida. Após a secagem o coco foi submetido ao processo de carbonização e foi triturado com auxílio do martelo. Após a trituração foi feito o peneiramento do carvão para obtenção do diâmetro efetivo de 1.2 mm, com o uso de crivos de 850 MIC, 1.2 mm e 2 mm.

Para o protótipo do purificador, utilizou-se um filtro metálico e colocou-se o carvão produzido como a terceira camada filtrante de ordem crescente, seguido de pedregulho e areia.

Em seguida, foram realizados testes de turbidez, para água bruta, decantada e filtrada.



**Figura 19:** Processo de carbonização do endocarpo de coco

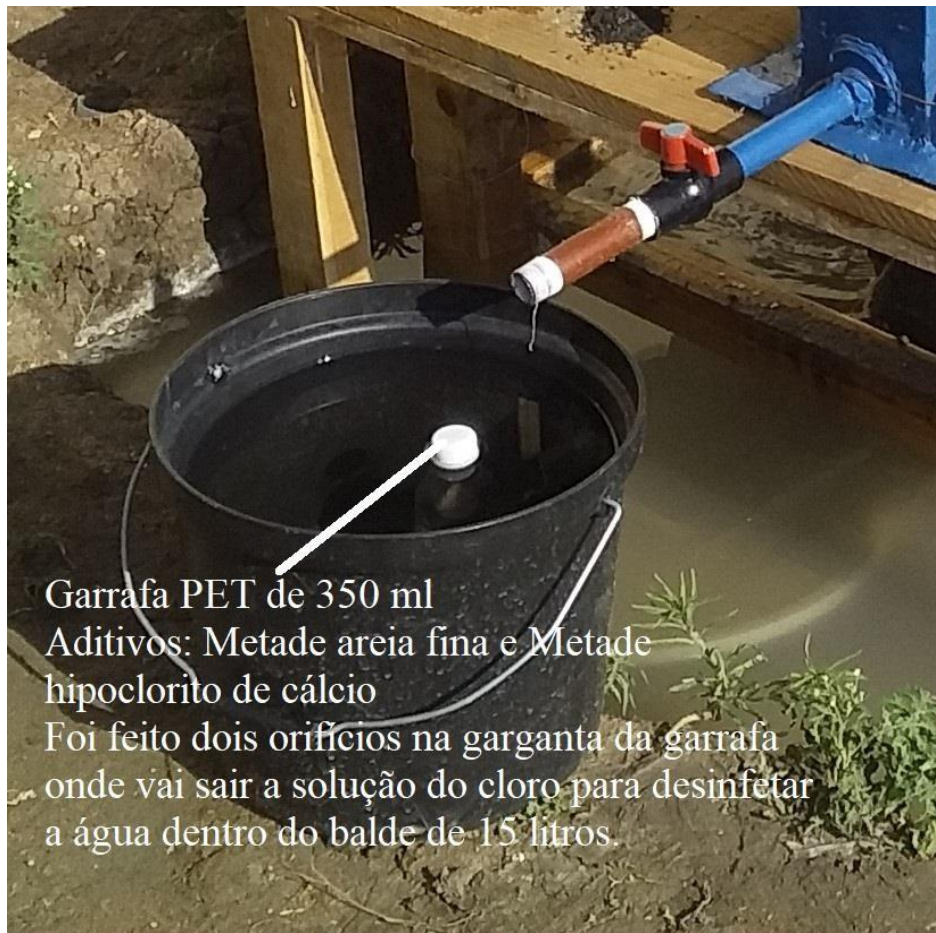
### 3.4.1 Dimensionamento de sistema de desinfecção (Clorador por difusão)

O clorador por difusão consiste de um equipamento para dosagem de cloro, passível de ser instalado no interior de poços rasos, reservatórios públicos ou domiciliares, que libera cloro em concentrações relativamente homogêneas, mantendo um teor residual até o término de sua vida útil.

O difusor constitui-se de um recipiente contendo uma mistura de areia com hipoclorito de cálcio. Materiais como garrafas plásticas, bambu, casca de coco, entre outros, podem ser utilizados como recipiente.

A areia tem a função de facilitar a liberação lenta do cloro para a água. No caso de um recipiente de 1.000 mL, utilizam-se 340 g de hipoclorito de cálcio em pó e 850 g de areia lavada. São feitas duas perfurações diametralmente opostas de 0,6 cm de diâmetro, a 10 cm abaixo do gargalo, para promover o contato entre o desinfetante e a massa líquida. Essa mistura é suficiente para a desinfecção de um volume da ordem de 2 mil litros de água.

Contudo, em função do volume do reservatório ou da vazão de recalque do poço, haverá necessidade do emprego de mais de uma unidade. Brasil - Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano: Ministério da Saúde, Série B, 2006.



**Figura 20:** Clorador por difusão usado no processo de desinfecção da água

Segundo Brasil - Ministério da Saúde, Série B, 2006: utilizam-se 340 g de hipoclorito de cálcio em pó e 850 g de areia lavada, essa mistura é suficiente para a desinfecção de um volume da ordem de 2 mil litros de água. Para esse estudo foi considerado um volume de 500 litros sendo que:

*340g de  $Ca(Cl)_2 \rightarrow 2000$  litros e 850g de areia  $\rightarrow 2000$  litros*

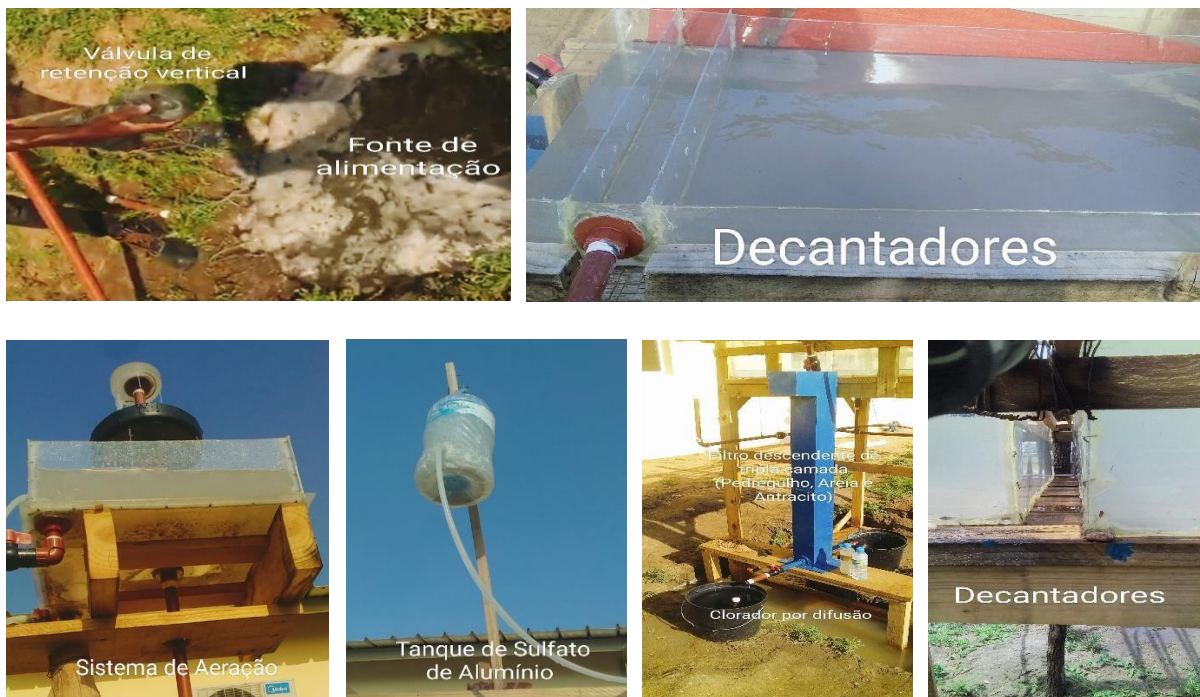
*$\leftrightarrow$  para um volume de 500 litros foi colocada 85g de  $Ca(Cl)_2$  e 220g de areia.*

A mistura foi colocada na garrafa PET de 350ml.

### **3.5 CONCEPÇÃO DO SISTEMA COMPLETO CONVENCIONAL E SIMPLIFICADO DE TRATAMENTO DE ÁGUA, COM DIFERENTES UNIDADES DE TRATAMENTO**



**Figura 21:** Sistema Completo de Tratamento de água instalado no ISPG



**Figura 22:** Diferentes unidades instaladas no sistema de tratamento de água

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO


### 4.1 Determinação da qualidade de água bruta e tratada nas linhas de tratamento de

## água

Foi analisado apenas o parâmetro físico especificamente a turbidez e as amostras foram coletadas em três pontos: Na Fonte de captação, nos Decantadores e nos Filtros. Na fonte de captação procurava-se saber a turbidez de água bruta. Nos Decantadores procurava-se saber a turbidez da água com uso de venturi normal e modificado na mistura rápida e o uso de flocladores na mistura lenta. Nos filtros procurava-se saber a turbidez da água com uso do filtro com material filtrante areia – antracito e filtro de areia – endocarpo de coco.

A tabela abaixo ilustra os resultados de turbidez de cada linha, obtidos no laboratório do ISPG durante análise. Primeiro foi feita a calibração do turbidímetro com o auxílio dos instrumentos de calibração disponíveis (R <0.10, R15, R100, R750 NTU), em seguida foi feita análises das amostras coletadas em cada linha de tratamento.

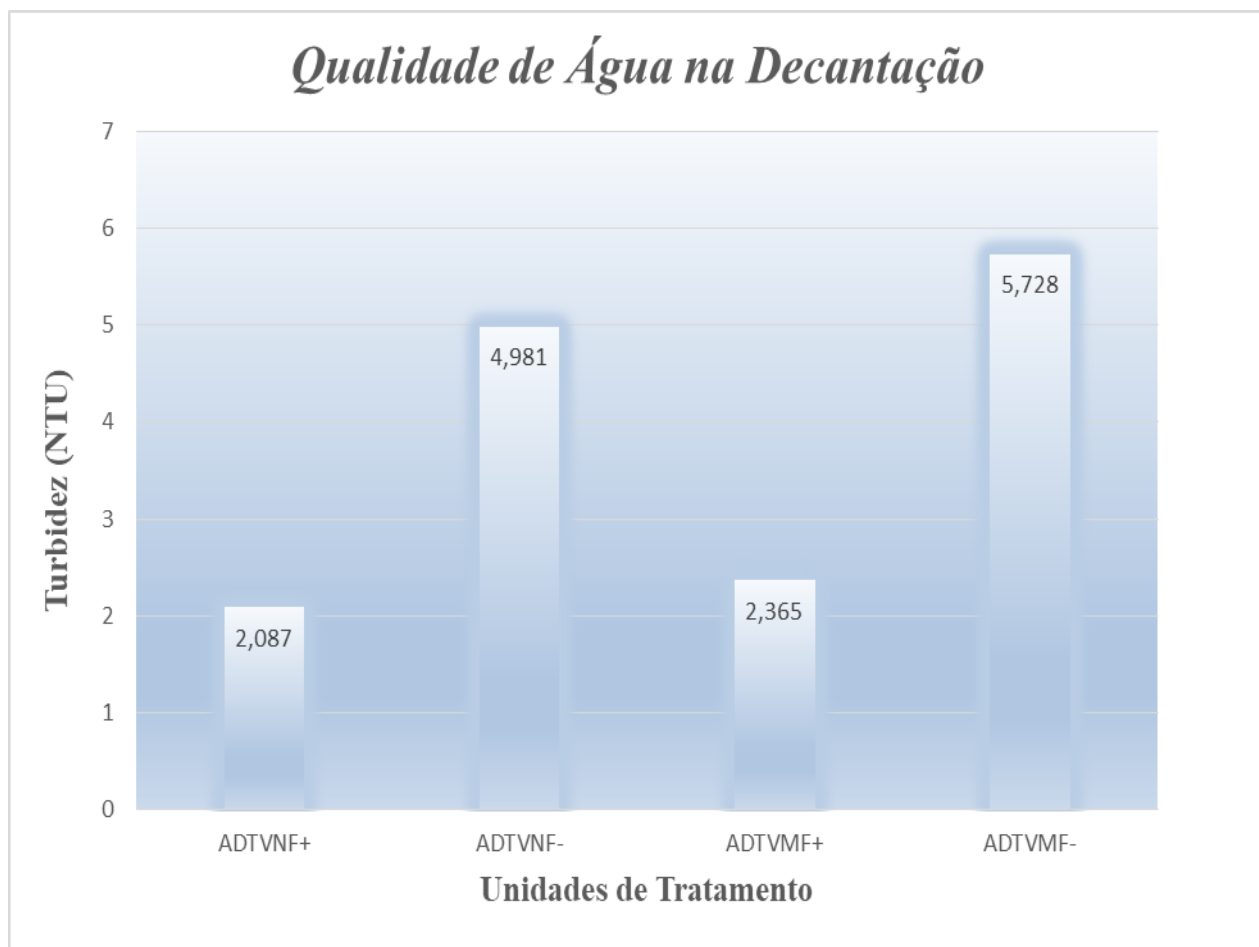
**Tabela 3** - Valores das amostras coletadas nas linhas de tratamento de água e suas médias

TESTE DE TURBIDEZ NAS DIFERENTES UNIDADES DE TRATAMENTO DE ÁGUA																
Tipo de Equipamento de Medição de Turbidez																
Coleta das Amostras		Parâmetro	Volume		Frasco				Prazo							
		Turbidez	200 ml		Polietileno				10 minutos							
Parâmetro (Turbidez)		26/09/2023		26/09/2023		26/09/2023		26/09/2023		26/09/2023		MÉDIA				
		Iª	IIª	Iª	IIª	Iª		IIª		Iª	IIª	Iª	IIª	A		
Calibração do Turbidímetro	R < 0,10 NTU	0,11	0,1	0,11	0,12	0,12		0,11		0,1	0,11	0,11	0,12	<b>0,111</b>		
	R 15 NTU	5,52		5,08	5,38	5,38	5,19	5,52	5,16	5,26	5,09	5,41	<b>5,299</b>			
	R 100 NTU	53,5		64,1	70,01	59,08	54,12	64,4	69,2	63,26	55,3	49,28	<b>60,222</b>			
	R 750 NTU	888	790	884	750			788			803	898	754	768	793	<b>811,6</b>
		*	*	*	*		*		*		*	*	*	*	*	
Amostras Coletadas nas Diferentes Unidades de Tratamento de Água	AB	987	1000	1000	985			944			959	993	1000	984	948	<b>980</b>
	ADTVNF+	2,08		2,11	2,12	2,07	2,08	2,1	2,07	2,09	2,09	2,06		<b>2,087</b>		
	ADTVNF-	4,88		5,01	4,97	4,93	5,02	5,04	5,02	4,97	4,95	5,02		<b>4,981</b>		
	ADTVMF+	2,35		2,37	2,36	2,34	2,37	2,36	2,37	2,39	2,38	2,36		<b>2,365</b>		
	ADTVMF-	5,75		5,77	5,72	5,69	5,73	5,76	5,69	5,71	5,74	5,72		<b>5,728</b>		
	AFaTVNF+	0,06	0,07	0,05	0,06			0,05			0,07	0,06	0,07	0,05	0,07	<b>0,061</b>
	AFaTVNF-	0,36	0,37	0,35	0,36			0,37			0,36	0,38	0,37	0,35	0,37	<b>0,364</b>
	AFaTVMF+	0,11	0,1	0,1	0,12			0,11			0,1	0,12	0,11	0,1	0,12	<b>0,109</b>
	AFaTVMF-	0,55	0,53	0,54	0,56			0,52			0,54	0,55	0,57	0,53	0,51	<b>0,54</b>
	AFcTVNF+	0,11	0,11	0,12	0,11			0,12	0,11	0,11			0,12	0,11	0,11	<b>0,113</b>
	AFcTVNF-	0,57	0,59	0,6	0,58			0,56			0,58	0,57	0,56	0,59	0,6	<b>0,58</b>
	AFcTVMF+	0,17	0,19	0,16	0,17			0,18			0,19	0,16	0,18	0,19	0,19	<b>0,178</b>
	AFcTVMF-	0,69	0,71	0,7	0,68			0,67			0,69	0,71	0,69	0,68	0,67	<b>0,689</b>



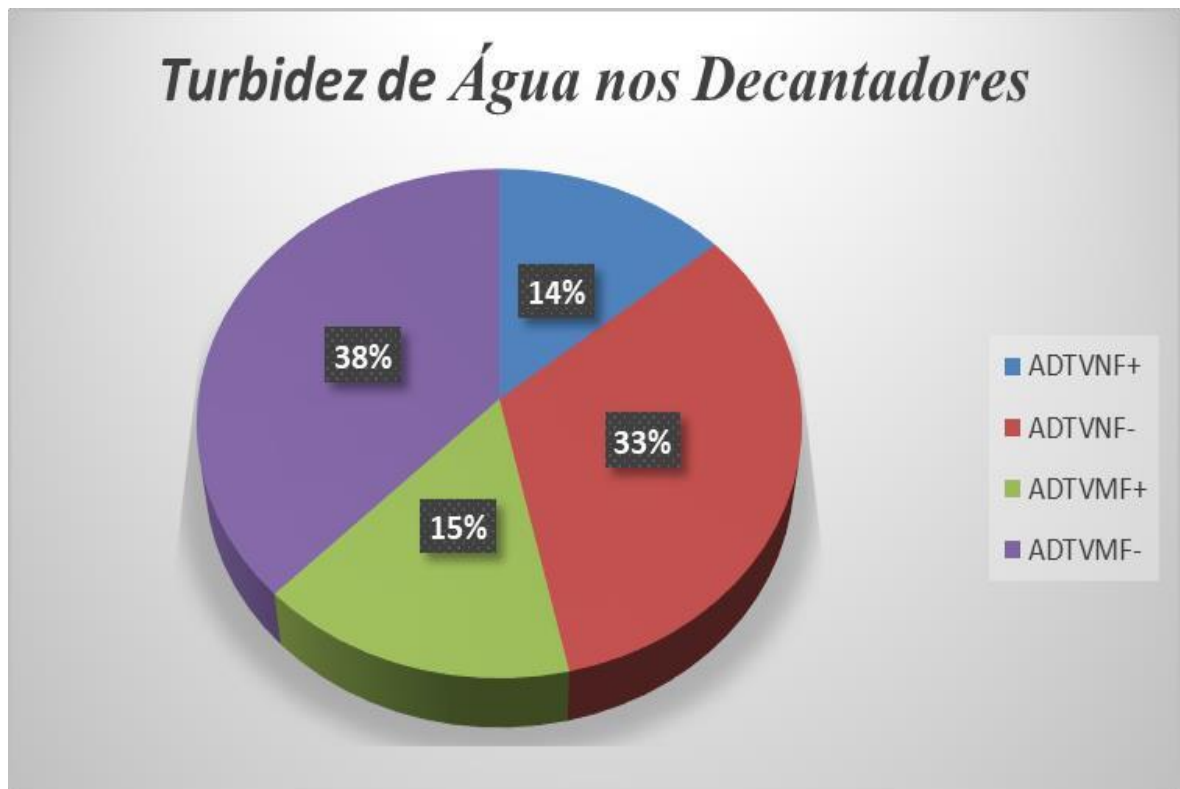
## 4.2 Análise de Turbidez na Decantação

Nas quatro linhas que as amostras foram colectadas nos decantadores, apenas duas representaram médias baixas de turbidez (ADTVNF+ e ADTVMF+), onde estavam dispostas de um sistema de floculação.



**Figura 23:** Médias das amostras de turbidez de água nas linhas de decantação

Em comparação pela percentagem de qualidade de água segundo a turbidez nas linhas de decantação a ADTVNF+ teve uma percentagem de 14%, ADTVNF- com 33%, ADTVMF+ com uma percentagem de 15% e ADTVMF- com uma percentagem de 38%, isto é, quanto menor for a turbidez encontrada numa determinada linha maior é a capacidade do tratamento das unidades que constitui a linha.



**Figura 24:** Valores em percentagem das médias amostras de turbidez de água nas linhas de decantação

#### **4.2.1 Discussão sobre as linhas na decantação**

Todas as linhas na decantação conseguiram reduzir 980 NTU de água bruta para 5.728 a 2.087 mas, apenas duas (ADTVNF+ e ADTVMF+) conseguiram reduzir a turbidez de água bruta aos valores permissíveis na decantação segundo as normas NBR 12216/92 e DMM nº 180/2004 (O decantador deve remover no mínimo 90% da turbidez encontrada na água coagulada no processo de tratamento e a turbidez de água decantada não deve ultrapassar 3 unidades nefelométrica de turbidez).

As linhas que não estavam dispostas de sistema de floculação (ADTVNF- e ADTVMF-), na decantação não conseguiram reduzir a turbidez de água bruta aos valores permissíveis pelas normas NBR 12216/92 e DMM nº 180/2004. Desta forma a eficiência incide no uso de sistema venturi normal ou modificado na mistura rápida e dispostos de um sistema de floculação constituído de trechos de canalizações.

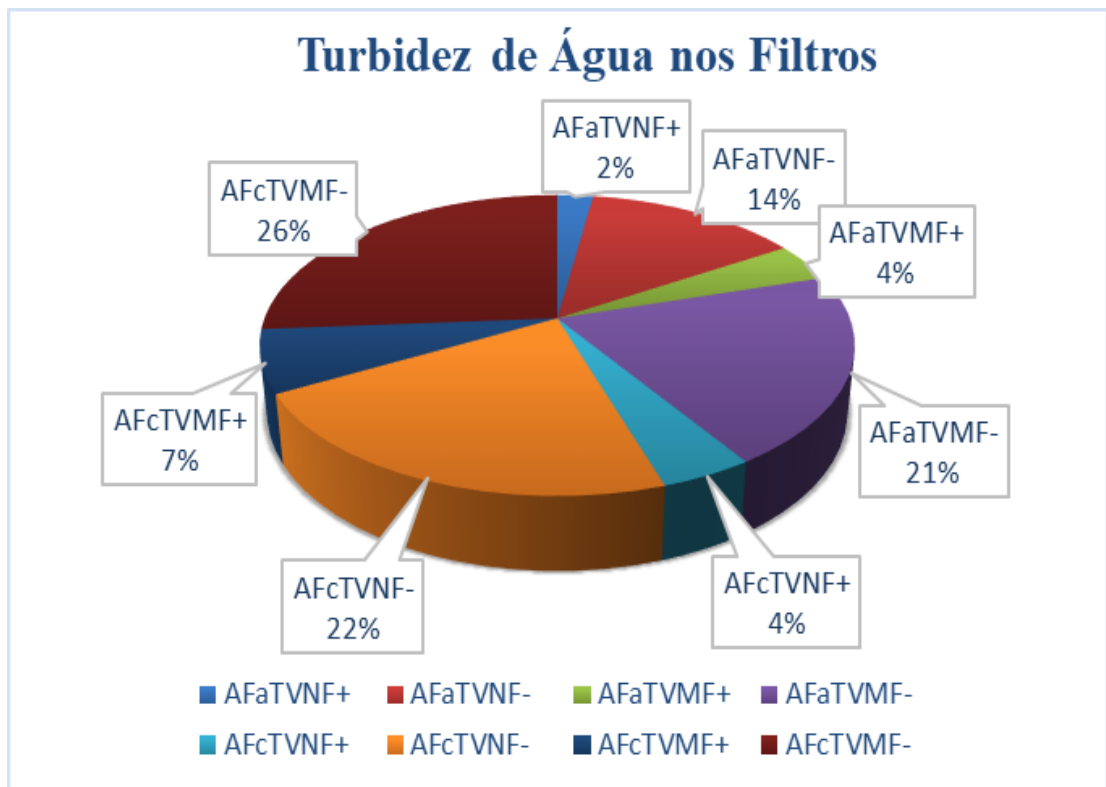
### 4.3 Análise de Turbidez na Filtração

O gráfico abaixo ilustra os resultados dos filtros de antracito e coco, onde cada linha deriva das quatro linhas de decantação. As linhas na filtração conseguiram reduzir a média de 5,728 – 2,087 para 0,689 – 0,061.



**Figura 25:** Valores médios das amostras de turbidez de água nas linhas de filtração

As linhas de filtração constituídas de AFaTVNF+, AFaTVMF+, AFcTVMF+ e AFCTVMF+ dispostas de um sistema de floculação, possuem maior capacidade de remoção de turbidez segundo os valores médios em percentagem obtidos nas análises das amostras quando comparados com os valores em percentagem das restantes linhas de filtração que não possuem um sistema de filtração (AFaTVNF-, AFaTVMF-, AFcTVMF- e AFCTVMF-).



**Figura 26:** Valores em porcentagem das médias das amostras de turbidez de água nos filtros

#### 4.3.1 Discussão sobre as Linhas na Filtração

Em todas linhas na filtração constituídas de filtros de Antracito e Coco como material filtrante, com sistema venturi normal e modificado, sem sistema de floculação, assim como em linhas que possuíam um sistema de floculação foram obtidos valores médios de turbidez no intervalo de 0.689 – 0.061, com isso afirma-se que o sistema foi muito eficiente porque foram obtidos valores de turbidez abaixo dos valores recomendados pela OMS, NBR 12216/92 e DMM nº 180/2004 que diz que “o valor máximo permitido para água tratada é de 1 NTU na saída das estações de tratamento de água”.

Segundo os valores médios obtidos de turbidez as linhas são descritas de alta eficiência quanto a remoção de turbidez de água no processo de tratamento simplificado e convencional da água.

#### 4.4 CORELAÇÃO DAS LINHAS TECNOLÓGICAS DE TRATAMENTO

Para a comparação da eficiência entre linhas de tratamento foi escolhido um método estatístico denominado correlação, definida como uma semelhança ou equivalência que existe entre duas hipóteses, situações ou objectos diferentes (BARBETTA, 2010).

##### 4.4.1 Correlação das linhas na qualidade de água medida nos decantadores

**Tabela 4** - Grau de correlação das linhas da decantação

<b>Correlação dos resultados das amostras obtidas nos Decantadores</b>			
Linhas de Tratamento	de Valor de Correlação	de Correlação	Descrição
ADTVNF- ADTVMF-	0.081998126	Positiva Fraca	O uso do tubo de venturi modificado como unidade na mistura do coagulante mostrou uma equivalência fraca quando correlacionado com o tubo de venturi normal.
ADTVNF+ ADTVNF-	0.061830172	Positiva Fraca	Convergência fraca quanto a qualidade de água disposta de um sistema de floculação comparada com a qualidade de água que não possui um sistema de floculação.

Nota: 0,7 a 0,9 positivo ou negativo indica uma correlação forte, 0,5 - 0,7 Positivo ou negativo indica uma correlação moderada, 0,3 - 0,5 Positivo ou negativo indica uma correlação fraca.

#### 4.4.2 Correlação das linhas na qualidade de água medida nos filtros

**Tabela 5** - Grau de correlação das linhas de filtração

<b>Correlação dos resultados das amostras obtidas nos Decantadores</b>			
Linhas de Tratamento	de Valor de Correlação	de Correlação	Descrição
AFaTVNF+ AFcTVNF+	-0,341514	Negativa Fraca	O uso do filtro de coco no tratamento de água comparado com o uso do filtro de antracito todos dispostos de um sistema venturi normal e um sistema de flocculação mostrou uma correlação negativa e muito fraca, ou seja, não há convergência entre eles.
AFaTVMF- AFcTVMF-	0.377964	Positiva Fraca	O uso do filtro de coco com tubo de venturi modificado e sem sistema de flocculação mostrou uma convergência positiva fraca quando comparado com o filtro de antracito com tubo de venturi normal e sem sistema de flocculação.

Nota: 0,7 a 0,9 positivo ou negativo indica uma correlação forte, 0,5 - 0,7 Positivo ou negativo indica uma correlação moderada, 0,3 - 0,5 Positivo ou negativo indica uma correlação fraca.

## 5 CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objectivo avaliar a eficiência do desempenho das diferentes linhas tecnológicas de tratamento de água dimensionadas e construídas a escala laboratorial. Considerando os preceitos da NBR 12216:1992 e DMM nº 180/2004, o dimensionamento foi executado com êxito. Foram propostas e dimensionadas unidades de mistura rápida tudo de venturi normal e modificado, floculação simplificada constituída de trechos de canalizações, de baixo custo, que apresentam facilidades de operação e manutenção, utilizando-se tubos, peças e conexões roscáveis IPS para a sua montagem. Foram dimensionadas unidades de decantação providas de um sistema hidráulico semi – horizontal, que apresenta vantagens como a elevada eficiência na remoção de suspensões, colaborando na manutenção de carreiras de filtração adequadas. Foram dimensionados filtros rápidos por gravidade, com camada dupla filtrante de areia – antracito e areia – casca de coco. Tratando-se da qualidade de água bruta e tratada no sistema, vale referir que todas as linhas do sistema reduziram 980 NTU correspondente ao valor médio de turbidez de água bruta para um valor médio de 3,79 NTU nas linhas de decantação e 0,32 NTU nas linhas de filtração. Na comparação das linhas tecnológicas de tratamento de água, vale ressaltar que as unidades instaladas apresentaram resultados satisfatórios, visto que, todas obtiveram valores de turbidez abaixo dos valores recomendados pelas normas que regem a potabilidade de água, fala-se do uso do tubo venturi normal e modificado na mistura rápida, que ambos apresentaram nas amostras da decantação valores de turbidez menores que 3 NTU. E o sistema de floculação disposto de trechos de canalizações apresentou uma contribuição positiva e satisfatória na redução de turbidez no processo de decantação. Nas linhas de filtração foi obtido um valor medio de turbidez de 0,32 NTU favorecendo as normas de potabilidade descritas pela NBR 12216/92 e DMM nº 180/2004 (o valor máximo permitido para água tratada é de 1 NTU na saída das estações de tratamento de água). Afirma-se que pode ser usado filtro de coco substituindo filtro de antracito, ou seja, a pesquisa mostrou que o carvão ativado produzido com o resíduo de casca de coco (endocarpo de coco) é eficiente como complemento no tratamento de água para consumo humano. Conclui-se que é possível a elaboração de novos projectos de sistemas de tratamento de águas de abastecimento utilizando a tecnologia de ciclo completo, bem como na elaboração de projectos de reforma e ampliação de sistemas existentes, seja para atender ao aumento da demanda, seja pela necessidade de melhorar a eficiência do processo, é possível a utilização de tecnologias de tratamento simplificadas, de baixo custo e alternativas.

## 6 RECOMENDAÇÕES

Com a realização desse estudo, cujo principal objetivo foi a construção e dimensionamento das diferentes linhas tecnológicas de tratamento de água, recomenda-se a importância de seguir as orientações das normas ABNT NBR 12216:1992 e DMM nº 180/2004, seguindo estas orientações há uma maior facilidade na realização do dimensionamento. Além da importância no dimensionamento, se preocupando com a parte operacional e de manutenção, o aspecto fundamental é a preocupação com a qualidade da água, que começa pelo manancial escolhido, até o final do tratamento, filtração e desinfecção.

O autor roga a comunidade científica que faça mais estudos relacionados, com a vista a averiguar todos critérios de potabilidade da água para abastecimento público, para que essa tecnologia simplificada seja introduzida a comunidade rural mais recôndita carente de condições higiênicas de saneamento adequado devido a falta de água potável, conseqüentemente vai contribuir na redução de doenças de veiculação hídrica causadas pelo consumo de água contaminada ou não tratada.

O sistema foi desenhado na escala laboratorial, dado que para a concepção da mesmo na escala real recomenda-se que sejam observados aspectos descritos nas alíneas ulteriores: O uso de “Jar-test” para avaliar o processo de coagulação-floculação e seus efeitos nas fases subsequentes do tratamento: decantação (ou flotação) e filtração. O controlo da propagação das algas na ETA, que é um problema sério para os administradores dos sistemas públicos de distribuição e a presença de sabor e odor é um transtorno para os consumidores.

A turbidez da água filtrada deverá ser medida frequentemente para que seja verificado se o filtro está em plenas condições de funcionamento. Essa que deve ser 0,5 NTU em 95% das amostras recolhidas. Ao final do tratamento de água o valor máximo permitido para *Escherichia coli* é a ausência do mesmo em 100 ml de amostra e para coliformes totais apenas uma amostra.

Deve-se verificar o pH da água tratada, devendo ser de 7,0 podendo variar entre 6,0 a 9,0. Também deve-se verificar as concentrações de fluoretos e de cloro residual livre com um valor máximo permitido de 1,5 mg/l para o primeiro e um valor de 0,4 mg/L para o segundo, na saída do tanque de contacto.

Na introdução da tecnologia a comunidade rural mais recôndita, carente de um sistema convencional de tratamento de água, não devem ser desprezados aspectos sociais, políticas, económicos e ambientais do local de implantação.



## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR-12216: Projecto de estação de tratamento de água para abastecimento público. Rio de Janeiro, 1992.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR-12213: Projecto de captação de água de superfície para Abastecimento Publico. Rio de Janeiro, 1992.
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6502: Rochas e Solos. 1995.
4. AZEVEDO NETTO, J. M.; FERNANDES, F. M.; ARAUJO, R. Manual de hidráulica. 8. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1998.
5. AZEVEDO NETTO, José M de e Outros, Técnica de Abastecimento e Tratamento de Água, CETESB, 1987.
6. BARBETTA, PEDRO A. Estatística aplicada as ciências sociais, 2010.
7. BARROS, R.T.V et al. Saneamento. Belo Horizonte : Escola de Engenharia da UFMG, 1995.
8. 221 p. (Manual de Saneamento e Proteção Ambiental para os Municípios, 2).
9. Brasil. Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano/ Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde. – Brasília: Ministério da Saúde, 2006. - (Série B. Textos Básicos de Saúde).
10. DACACH, N. G. Saneamento básico. 3. Ed. Rio de Janeiro: Editora Didática e Científica, 1990.
11. Di BERNARDO, L.; Di BERNARDO, A. Métodos e Técnicas de Tratamento de Água. São Carlos: RIMA, 2005.
12. Di BERNARDO, A.; Desempenho de sistemas de dupla filtração no tratamento de água com turbidez elevada. 2004. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia - Universidade de São Paulo.
13. DACACH, N.G. Saneamento básico. 3.ed. Rio de Janeiro: Editora Didática e Científica, 1990.
14. FLORENÇO, J.C. Sistemas de Tratamento e Distribuição de Água. Material Didático, 2011.
15. HELLER, L; W.L. PÁDUA. Abastecimento de água para consumo humano. 2006, Ed. UFMG, 85p.
16. LIMA, J. P. M.; Rollemberg, S. L. S. Técnicas Simplificadas de Tratamento de Água. Rev. Virtual Quim., 2020, 12 (2), 447-460. Data de publicação na Web: 3 de Abril de 2020.

17. MAE. (2014). Perfil do distrito do Chókwè província de Gaza. Maputo
18. MENEZES, Maria Correia. Investigação de processos operacionais de uma estação de tratamento de água de ciclo completo, 2019.
19. PATERNIANI, J. E. S. ROSTON. D. M. Tecnologias para tratamento e reuso da água no meio rural. In: HAMADA, E. (Ed.) Água, agricultura e meio ambiente no Estado de São Paulo: avanços e desafios. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2003.
20. PAULO, H. L. N. Dimensionamento de filtros rápidos por gravidade de uma estação de tratamento de água de ciclo completo. UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA. UBERLÂNDIA, Dezembro 2019.
21. PEREIRA, Régis da Silva. Identificação e Caracterização das Fontes de Poluição em Sistemas Hídricos. Revista Eletrônica de Recursos Hídricos. IPH – UFRGS. V. 1, n. 1. P. 20-36. 2004.
22. FREITAS, Marcelo B. Tratamento de Água para Consumo Humano. Escola nacional de saúde pública. Departamento de Saneamento e Saúde Ambiental – FIOCRUZ/ENSP. Rio de Janeiro 2001.
23. RICHTER, Carlos Augusto; NETTO, José Martiniano de Azevedo. Tratamento de Água. São Paulo: Edgard Blücher, 1991.
24. RODRIGO, V. S. R. Dimensionamento de uma estação de tratamento de água de ciclo completo para abastecimento da cidade de campo florido. UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA. UBERLÂNDIA, 2018.
25. SANTOS, P. H. V. Dimensionamento hidráulico de uma estação de tratamento de água de ciclo completo com sistemas de mistura rápida e floculação constituídos de trechos de canalizações em conduto forçado. UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA. UBERLÂNDIA, Fevereiro 2019.
26. SCHIAVO, M.L. Sistemas e processos de tratamento de água de abastecimento. Orgs. Luis Alcides Schiavo Miranda e Luis Olinto Monteggia. Porto Alegre: (S.n.), 2007.
27. SILVA, C.F. Remoção de oocistos e de Indicadores físicos de *Cyptosporidium parvum* em águas de abastecimento por meio da decantação – Estudo em escala piloto. Belo Horizonte, 2008.
28. SOUZA, Walterler. Tratamento de Água. CEFET-RN editora, 2007.
29. Tsutiya, Milton Tomoyuki. Abastecimento de Água. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 4ª. Edição. 2006.
30. VIANNA, Marcos Rocha. Hidráulica Aplicada as Estações de Tratamento de Água. 4.

## 8 APÊNDICE A

### Dimensionamento da fonte de alimentação

(Manancial Abastecedor)

Vazão do projecto de 10 l/min

<i>Equação</i>	<i>Dados</i>
$A_M = \pi \times \frac{D_M^2}{4}$	$A_M = 0.78 \text{ m}^2$
$V_M = A_M \times pfd$	$V_M = 1.17 \text{ m}^3$
$Q_p = \frac{V_M}{T_F}$	$T_F = 1.95 \text{ h}$

Dimensionamento das unidades de aeração e o tanque de coleta de água aerada

Dimensionamento dos orifícios que levam a água de tanque de coleta de água aerada para unidades de mistura rápida

Parâmetros	Diâmetro do orifício = 3/4"
de Projecto	Vazão de projecto = 14.4 $\frac{\text{m}^3}{\text{dia}}$
	Número de orifício : 02

Sendo duas linhas a vazão será dividida para cada linha:

<i>Equação</i>	<i>Dados</i>
$Q_{linha} = \frac{Q_{Gp}}{2}$	$Q_{linha} = 8.33 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$
$A_{orif} = \pi \times \frac{D_{orif}^2}{4}$	$A_{orif} = 0.000285 \text{ m}^2$
$Q_{linha} = v_{orif} \times A_{orif}$	$v_{orif} = 0.29 \text{ m/s}$

## Dimensionamento do Tubo de Venturi

**Parâmetros de Projecto** Aerador de queda tipo cascata  
 Vazão de projecto =  $14.4 \frac{m^3}{dia}$   
 Número de plataformas: 02

### I<sup>a</sup> Plataforma Inferior

Diâmetro da plataforma inferior = 25 cm

<b>Equação</b>	<b>Dados</b>
$S_I = \pi \times \frac{D_I^2}{4}$	$S_I = 0.0490 \text{ m}^2$
$S_I = \frac{Q_p}{TXA}$	$TXA = 293.88 \frac{m^3}{m^2 \times dia}$

### II<sup>a</sup> Plataforma Superior

Diâmetro da plataforma superior = 8 cm

<b>Equação</b>	<b>Dados</b>
$S_{II} = \pi \times \frac{D_{II}^2}{4}$	$S_{II} = 0.0050 \text{ m}^2$
$S_{II} = \frac{Q_p}{TXA}$	$TXA = 2880 \frac{m^3}{m^2 \times dia}$

### Tanque de coleta de água aerada

Adotada uma geometria quadrada com uma largura de 50 cm

<b>Equação</b>	<b>Dados</b>
$A_T = l^2$	$A_T = 0.25 \text{ m}^2$
$A_T = \frac{Q_p}{TXA}$	$TXA = 58 \frac{m^3}{m^2 \times dia} \rightarrow OK$

como unidade de mistura rápida

### Parâmetros

$Q_{linha} = 8.33 \times 10^{-5} \frac{m^3}{s}$   
 Coeficiente de atrito  $f = 0.03$   
 Peso específico  $\gamma = 1000 \frac{kgf}{m^3}$   
 Viscosidade dinâmica  $\mu = 0.0001029 \frac{kgf}{m^2}$   
 Aceleração da gravidade  $g = 9.81 \frac{m}{s^2}$

### Secção 1

Diâmetro do tubo = 3/4"  
 Comprimento do tubo = 0.20 m

<b>Equação</b>	<b>Dados</b>
$G_{s1} = \sqrt{\frac{32 \times \gamma \times f \times Q_{linha}^3}{\mu \times g \times \pi^3 \times D_{s1}^7}}$	$GG_{s1} = 139,56 \text{ s}^{-1}$
$A_{s1} = \pi \times \frac{D_{s1}^2}{4}$	$A_{s1} = 0.000285 \text{ m}^2$
$Q_{linha} = v_{s1} \times A_{s1}$	$v_{s1} = 0.32 \text{ m/s}$
$C_{s1} = v \times TDH$	$TDH = 0.625 \text{ s}$

### Secção 2 da Linha 1

Diâmetro da Mangueira de Nivel = 5/16"  
 Comprimento de 0.5 m

<b>Equação</b>	<b>Dados</b>
$G_{s1} = \sqrt{\frac{32 \times \gamma \times f \times Q_{linha}^3}{\mu \times g \times \pi^3 \times D_{s1}^7}}$	$GG_{s1} = 3000 \text{ s}^{-1}$
$A_{s1} = \pi \times \frac{D_{s1}^2}{4}$	$A_{s1} = 0.0000495 \text{ m}^2$
$Q_{linha} = v_{s1} \times A_{s1}$	$v_{s1} = 1.68 \text{ m/s}$
$C_{s1} = v \times TDH$	$TDH = 0.297 \text{ s}$

### Secção 3

Diâmetro do tubo = 3/4"  
 Comprimento do tubo = 1 m

<b>Equação</b>	<b>Dados</b>
$G_{s1} = \sqrt{\frac{32 \times \gamma \times f \times Q_{linha}^3}{\mu \times g \times \pi^3 \times D_{s1}^7}}$	$GG_{s1} = 139,56 \text{ s}^{-1}$
$A_{s1} = \pi \times \frac{D_{s1}^2}{4}$	$A_{s1} = 0.000285 \text{ m}^2$
$Q_{linha} = v_{s1} \times A_{s1}$	$v_{s1} = 0.32 \text{ m/s}$
$C_{s1} = v \times TDH$	$TDH = 3.125 \text{ s}$

## 9 APENDICE B

**Dimensionamento de dois trechos de canalizações em série, com diâmetros crescentes no sentido do escoamento como unidades de mistura lenta no processo de floculação**

Parâmetro	
$Q_{linha} = 8.33 \times 10^{-5} \frac{m^3}{s}$	
Numero de trecho = 02	
Diâmetro de trecho 1 = 1/2"	
Diâmetro de trecho 2 = 3/4"	
Comprimento para cada trecho = 10 m	
Coefficiente de atrito $f = 0.03$	
Peso específico $\gamma = 1000 \frac{kgf}{m^3}$	
Viscosidade dinâmica $\mu = 0.0001029 \frac{kgf}{m^2}$	
Aceleração da gravidade $g = 9.81 \frac{m}{s^2}$	
Primeiro Trecho 1/2"	
Equação	Dados
$G_{t1} = \sqrt{\frac{32 \times \gamma \times f \times Q_{linha}^3}{\mu \times g \times \pi^3 \times D_{t1}^7}}$	$G_{t1} = 576 s^{-1}$
$A_{t1} = \pi \times \frac{D_{t1}^2}{4}$	$A_{t1} = 0.000126 m^2$
$Q_{linha} = v_{t1} \times A_{t1}$	$v_{t1} = 0.66 m/s$
$C_{t1} = v \times TDH$	$TDH = 15 s$
Segundo Trecho 3/4"	
Equação	Dados
$G_{t2} = \sqrt{\frac{32 \times \gamma \times f \times Q_{linha}^3}{\mu \times g \times \pi^3 \times D_{t2}^7}}$	$G_{t2} = 139,54 s^{-1}$
$A_{t2} = \pi \times \frac{D_{t2}^2}{4}$	$A_{t2} = 0.000205 m^2$
$Q_{linha} = v_{t2} \times A_{t2}$	$v_{t2} = 0.29 m/s$
$C_{t2} = v \times TDH$	$TDH = 34 s$

## Dimensionamento das unidades de sedimentação (Decantadores)

Parâmetro	
$Q_{linha} = 8.33 \times 10^{-5} \frac{m^3}{s}$	
$Q_{linha} = 7.2 \frac{m^3}{dia} = 0.3 \frac{m^3}{h}$	
$V_s = TAS = 19 \frac{m^3}{m^2 \times dia}$	
Comprimento = 1.10 m	
Largura = 0.5 m	
Profundidade = 0.25 m	
Equação	Dados
$A_d = C \times L$	$A_d = 0,55 m^2$
$V_s = TAS = \frac{Q_{linha}}{A_d}$	$TAS = 13,090 \frac{m^3}{m^2 \times dia}$
$\theta_h = TDH = \frac{V_d}{Q_{linha}}$	$\theta_h = 27.5 min$
$V_h = \frac{Q_{linha}}{pfd \times L}$	$V_h = 0,0006664 m/s$
$R_h = \frac{pfd \times L}{(L+2 \times pfd)}$	$R_h = 0,125 m$
$Re = \frac{V_h \times R_h}{\nu}$	$Re = 83.3 (Re < 20000 \rightarrow Ok)$
Foi instalado 01 calha de coleta de agua decantada.	
Cortina Difusora (velocidade permissivel = 0,10 m/s)	
Equação	Dados
$A_{furo} = \frac{Q_{linha}}{V_p}$	$A_{furo} = 0,000833 m^2$
<b>Geometria quadrada <math>Ad = 0,02 \times 0,02 = 0,0004 m^2</math></b>	
Total de orificios = 5 orificios	
$V_{orif} = \frac{Q_{linha}}{Ad \times total}$	$V_{orif} = 0,042 m/s$
Verificação de gradiente de velocidade nos orificios	
$D_h = 4 \times \frac{(B \times h)}{(B+2h)}$	$D_h = 0,5 m$
$Re = \frac{V_{orif} \times D_h}{\nu}$	$Re = 21000$
$f = \frac{0,25}{1 \left[ \log \left( \frac{e}{3,7 + \frac{5,74}{Re^{0,9}}} \right) \right]^2}$	$f = 0,035$
$J = \frac{f \times V_{orif}^2}{D_h \times 2g}$	$J = 0,0000063 m/m$
$G = \sqrt{\frac{\gamma \times V_{orif} \times J}{u}}$	$G = 1,62 \rightarrow ok$

## 10 ANEXO A



**Figura 27:** Processo de análise das amostras de água coletadas nas linhas de tratamento



**Figura 28:** Construção das bancadas das unidades de tratamento



**Figura 29:** Processo de corte do acrílico

## 11 ANEXO B



**Figura 30:** Processo de montagem dos decantadores



**Figura 31:** Processo de instalação do sistema