



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO,
CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA

COORDENAÇÃO DO CURSO SUPERIOR DE
BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL



KARLOS MARX DE SOUSA SILVA

DESCRIÇÃO DAS TECNOLOGIAS DE TRATAMENTOS DE ÁGUA NO BRASIL E SUAS DISTRIBUIÇÕES POR REGIÕES NO PAÍS

Cajazeiras-PB, 2020

KARLOS MARX DE SOUSA SILVA

**DESCRIÇÃO DAS TECNOLOGIAS DE TRATAMENTOS DE ÁGUA NO BRASIL E
SUAS DISTRIBUIÇÕES POR REGIÕES NO PAÍS**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba-*Campus* Cajazeiras, como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil, sob Orientação do Prof. Bruno de Medeiros Souza.

Cajazeiras-PB, 2020

Campus Cajazeiras
Coordenação de Biblioteca
Biblioteca Prof. Ribamar da Silva
Ficha Catalográfica Elaborada pelo Departamento de Bibliotecas do IFPB - Reitoria
Thiago Cabral - CRB 15/628

S586d

SILVA, Karlos Marx de Sousa

Descrição das tecnologias de tratamentos de água no Brasil e suas distribuições por regiões no País / Karlos Marx de Sousa Silva; orientador Bruno de Medeiros Souza. - Cajazeiras, PB, 2020.

75f. : il.

Orientador: Bruno de Medeiros Souza.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia Civil, Cajazeiras, 2020.

1. Tratamento de Água. 2. Abastecimento. 3. Regiões. I. Souza, Bruno de Medeiros, orient. II. Título.

CDU: 628.16

KARLOS MARX DE SOUSA SILVA

**DESCRIÇÃO DAS TECNOLOGIAS DE TRATAMENTOS DE ÁGUA NO BRASIL E
SUAS DISTRIBUIÇÕES POR REGIÕES NO PAÍS**

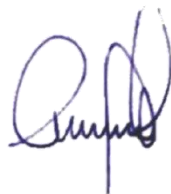
Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
Coordenação do Curso de Bacharelado em
Engenharia Civil do Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba,
como parte dos requisitos para a obtenção do
Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em 10 de Dezembro de 2020.

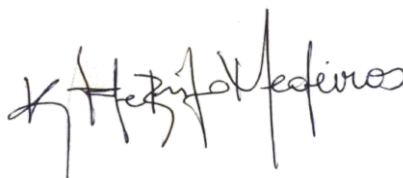
BANCA EXAMINADORA

Bruno de Medeiros Souza

Bruno de Medeiros Souza – IFPB-Campus Cajazeiras
Orientador



Cícero de Souza Nogueira Neto – IFPB-Campus Cajazeiras
Examinador 1



Katharine Taveira de Brito Medeiros – IFPB-Campus Cajazeiras
Examinador 2

Dedico este trabalho aos meus familiares e amigos, pelo apoio e incentivo durante o curso.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Federal da Paraíba, *Campus* Cajazeiras pela oportunidade de realização da graduação em engenharia civil e pelo acolhimento por parte dos funcionários e professores.

Aos meus colegas de graduação pelo compartilhamento de conhecimentos durante as tarefas desenvolvidas no curso.

Ao professor Bruno Medeiros pelo apoio e orientação na realização deste trabalho.

Ao professor Gastão Coelho pela atenção prestada durante a disciplina de TCC.

A todos os professores que puderam contribuir transmitindo seus conhecimentos nessa caminhada até a conclusão deste curso.

A todos os meus familiares que sempre me apoiaram.

RESUMO

O presente trabalho objetivou a descrição dos tipos de tecnologias utilizadas para tratamento de água de abastecimento no Brasil, bem como a distribuição dessas tecnologias por regiões do país, com foco no tratamento classificado como convencional, em que estão presentes os processos de coagulação, floculação, decantação e/ou flotação, filtração, e processos adicionais como desinfecção e fluoretação, entre outros, e tecnologias classificadas como não convencionais, caracterizadas por não conter todos os processos presentes no tratamento convencional, como a filtração lenta, filtração em múltiplas etapas, filtração direta ascendente, filtração direta descendente e dupla filtração. Em seguida foi apresentado dados sobre a distribuição dos tipos de tratamento por regiões do país, bem como volumes de água tratadas por elas, de acordo com dados do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). Foi possível concluir que apesar dos processos não convencionais de tratamento de água apresentarem vantagens face ao tratamento convencional, o tratamento convencional ainda é predominante no tratamento de água no Brasil, comprovada pelo volume diário tratado observados em vários anos, de acordo com a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico realizada pelo IBGE.

Palavras-Chave: Tratamento de água; ETA; Tecnologias de tratamento; Água de abastecimento.

ABSTRACT

The present work aimed at describing the types of technologies used for treatment of water supply in Brazil, as well as the distribution of these technologies by regions of the country, focusing on treatment classified as conventional, in which the coagulation, flocculation, decantation and / or flotation, filtration processes are present, and additional processes such as disinfection and fluoridation, among others, and technologies classified as unconventional, characterized by not containing all the processes present in conventional treatment, such as slow filtration, multi-stage filtration, direct upward filtration, direct downward filtration and double filtration. Next, data were presented on the distribution of types of treatment by regions of the country, as well as volumes of water treated by them, according to data from IBGE (Brazilian Institute of Geography and Statistics). It was possible to conclude that although unconventional water treatment processes present advantages over conventional treatment, conventional treatment is still prevalent in water treatment in Brazil, as evidenced by the daily treated volume observed over several years, according to the National Survey of Basic Sanitation carried out by IBGE.

Keywords: Water treatment; WTP; Treatment technologies; Water supply.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURAS

Figura 1- Fluxograma das tecnologias com uso da filtração lenta	17
Figura 2 - Fluxograma das tecnologias com uso da filtração rápida	17
Figura 3 - Representação de calha Parshall.....	20
Figura 4 - Calha Parshall em funcionamento	20
Figura 5 - Calha Parshall	21
Figura 6 - Representação de um misturador mecânico	21
Figura 7 - Misturador rápido de eixo vertical.....	22
Figura 8 - Representação de flocladores de chicanas	25
Figura 9 - Floclador de chicanas com fluxo vertical.....	25
Figura 10 - Floclador de chicanas com fluxo horizontal.....	26
Figura 11 - Esquema de um floclador de fluxo helicoidal em corte e planta.....	26
Figura 12 - Representação de um floclador mecânico de fluxo axial.....	27
Figura 13 - Floclador mecânico	27
Figura 14 - Floclador de paletas	28
Figura 15 - Representação de um decantador de fluxo horizontal	29
Figura 16 - Decantador de fluxo horizontal em funcionamento.....	29
Figura 17 - Representação de um decantador tubular.....	30
Figura 18 - Decantador com módulos tubulares.....	30
Figura 19 - Decantador de fluxo vertical em funcionamento.....	31
Figura 20 - Representação de um sistema de flotação	32
Figura 21 - Tanque de flotação.....	32
Figura 22 - Esquema de um filtro rápido	34
Figura 23 - Tanque de contato para adição de flúor e correção de pH	37
Figura 24 - Cone de saturação para dosagem de flúor.....	38
Figura 25 - Dispositivo de fluoretação de água por bomba	38
Figura 26 - Esquema de corte de filtro lento	41
Figura 27 - Esquema de corte de filtro lento detalhado	41
Figura 28 - Representação de um filtro lento de areia	41
Figura 29 - Representação esquemática de uma ETA por FiME	43
Figura 30 - Representação de um pré-filtro dinâmico	44

Figura 31 - Esquema de um pré-filtro ascendente em camadas (PFPAC).....	45
Figura 32 - Esquema de um pré-filtro ascendente em camadas (PFPAS)	45
Figura 33 - Esquema de corte de um pré-filtro ascendente.....	46
Figura 34 - Esquema de filtro ascendente com calha única para água filtrada e de lavagem ..	49
Figura 35 - Filtro ascendente com calhas de coleta de água filtrada e de lavagem separadas .	49
Figura 36 - Filtração direta descendente com pré-floculação tipo mecânica.....	52
Figura 37 - Esquema de uma instalação de dupla filtração.....	55
Figura 38 - Representação de dupla filtração	55
Figura 39 - Filtro Ascendente e Descendente.....	56
Figura 40 - Filtro Ascendente e Descendente em unidades separadas	56

GRÁFICOS

Gráfico 1 - Distribuição de ETAs operadas pelas CESB, por tipo de tecnologia.	59
Gráfico 2 - Percentagem do volume total de água tratada, por tratamento convencional por região, ano 2000 e 2017	61
Gráfico 3 - Percentagem do volume total de água tratada, por tratamento não convencional, por região, ano 2000 e 2017	62
Gráfico 4 - Percentagem do volume total de água tratada, por simples desinfecção, por região, ano 2000 e 2017.....	63
Gráfico 5 - Número de municípios com tratamento convencional, por região, ano 2008 e 2017	64
Gráfico 6 - Número de municípios com tratamento não convencional, por região, ano 2008 e 2017.....	64
Gráfico 7 - Número de municípios com simples desinfecção de água, por região, ano 2008 e 2017.....	65
Gráfico 8 - Volume de água tratada distribuída por dia, por tipo de tratamento em 2000.	66
Gráfico 9 - Volume de água tratada distribuída por dia, por tipo de tratamento em 2008.	66
Gráfico 10 - Volume de água tratada distribuída por dia, por tipo de tratamento em 2017. ...	67
Gráfico 11 - Distribuição dos tipos de tratamento na região Nordeste, ano 2017.....	67
Gráfico 12 - Distribuição dos tipos de tratamento na região Norte, ano 2017.....	68
Gráfico 13 - Distribuição dos tipos de tratamento na região Sudeste, ano 2017.....	68
Gráfico 14 - Distribuição dos tipos de tratamento na região Sul, ano 2017	69

Gráfico 15 - Distribuição dos tipos de tratamento na região Centro-Oeste, ano 2017 69

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros de qualidade da água bruta sugeridos para técnicas de filtração lenta .	18
Tabela 2 - Parâmetros de qualidade da água bruta sugeridos para técnicas de filtração rápida	18
Tabela 3 - Critérios para dimensionamento de filtração lenta.....	40
Tabela 4 - Critérios de dimensionamento de PFPAC	46
Tabela 5 - Critérios de dimensionamento de PFPAS.....	46
Tabela 6 - Composição das camadas filtrantes em filtros ascendentes de pedregulho.....	54
Tabela 7 - Volume de água tratada distribuída por dia, por regiões, ano 2000.....	59
Tabela 8 - Volume de água tratada distribuída por dia, por regiões, ano 2017.....	60
Tabela 9 - Número de municípios com tratamento de água, por tipo de tratamento, ano 2008	60
Tabela 10 - Número de municípios com tratamento de água, por tipo de tratamento, ano 2017	61

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Atm – Atmosfera (unidade)

CEBS – Companhia Estadual de Saneamento

ETA – Estação de Tratamento de Água

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

DFI – Descarga de Fundo Intermediária

FDD – Filtração Direta Descendente

FDA – Filtração Direta Ascendente

FiME – Filtração em Múltiplas Etapas

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

NMP – Número Mais Provável

PFPA – Pré-Filtro de Pedregulho Ascendente

PFPAAC – Pré-Filtro de Pedregulho Ascendente em Camadas

PFPAS – Pré-Filtro de Pedregulho Ascendente em Série

PH – Potencial Hidrogeniônico

PNSB – Pesquisa Nacional de Saneamento Básico

PROSAB – Programa de Pesquisas em Saneamento Básico

THM – Trihalometanos

UNT – Unidade Nefelométrica de Turbidez

UC – Unidade de Cor

UPA – Unidade Padrão de Área

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
2 OBJETIVOS	15
2.1 OBJETIVO GERAL	15
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
3 REVISÃO DE LITERATURA	16
3.1. TRATAMENTO CONVENCIONAL DE ÁGUA	19
3.2. TRATAMENTO DE ÁGUA POR FILTRAÇÃO LENTA	39
3.3. TRATAMENTO POR FILTRAÇÃO EM MÚLTIPLAS ETAPAS (FIME).....	42
3.4. TRATAMENTO DE ÁGUA POR FILTRAÇÃO DIRETA	47
3.4.1. Filtração Direta Ascendente (FDA)	48
3.4.2. Filtração Direta Descendente (FDD).....	51
3.4.3. Dupla Filtração.....	53
4 METODOLOGIA	57
5 RESULTADOS E ANÁLISES.....	58
6 CONCLUSÃO.....	70
REFERÊNCIAS.....	71

1 INTRODUÇÃO

O tratamento de água para abastecimento tem por objetivo torná-la adequada aos parâmetros sanitários para potabilidade estabelecidos pela portaria de consolidação nº 5 de 2017, contidas no anexo XX, do ministério da saúde. A água potável é aquela apropriada para consumo humano, em que seus parâmetros microbiológicos, físicos, químicos e radioativos atendam ao padrão de potabilidade e que não ofereça riscos à saúde (FUNASA, 2007). Para tanto, existem várias tecnologias que podem ser empregadas para o tratamento da água bruta, sendo que cada tecnologia é capaz de tratar água bruta com determinadas características, onde os parâmetros da água bruta podem caracterizar a água como imprópria para consumo, como de ordem sanitária, representada pela presença de organismos patogênicos e substâncias prejudiciais à saúde, e organolépticas representada pela turbidez, cor, gosto e odor (BRASIL, 2006).

Os métodos ou tecnologias de tratamento de água para abastecimento podem ser classificados em convencional, contendo os processos de coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção, podendo conter etapas adicionais como correção de pH, fluoretação entre outros antes de ser distribuída à rede de abastecimento, e não convencional quando não possui todas as etapas contidas no tratamento convencional (IBGE, 2020).

A adoção do tratamento que seja mais adequado deve ser realizada levando-se em conta as características físico-químicas e a tratabilidade da água bruta, fatores que têm sido negligenciados no âmbito da implantação de estações de tratamento de água, trazendo problemas operacionais (RICHTER, 2009).

Segundo Achon (2008), no país existem tecnologias de tratamento incompatíveis com a qualidade da água bruta a ser tratada. Nos dando exemplo de que para águas com os mesmos padrões aferidos, o processo de coagulação em uma tecnologia de tratamento ocorre com sucesso, enquanto em outro tipo de tecnologia não se obtém sucesso na coagulação.

No Brasil, de acordo com Richter (2009), existe a predominância do emprego de estações de tratamento convencional ou de ciclo completo para águas de abastecimento, visto que muitas vezes na etapa de implantação de uma ETA não se realiza os estudos de bacia hidrográfica, padrões de potabilidade da água bruta, tratabilidade dessa água, regimes pluviométricos, entre outros. Estudos esses que norteiam o projeto de uma ETA, através do conhecimento dos padrões da água do manancial e antecipação a mudanças de qualidade que possa vir a sofrer. Essas investigações podem ser determinantes para a escolha da tecnologia a

ser empregada, porém demandam tempo quando feitos de maneira correta, fator esse que faz com que sejam ignorados. Então o ciclo completo por ser um sistema capaz de tratar uma ampla faixa de qualidade da água bruta, é o mais escolhido. Todavia, esse sistema não é tão simples, e seu custo de implantação e operação podem ser bem dispendiosos comparados com outras tecnologias.

Vários estudos sobre tecnologias de tratamento não convencional, como os estudos de Di Bernardo et al (1999) e Di Bernardo (2003) no âmbito do PROSAB, mostram a eficiência desse tipo de tratamento tal qual o convencional, e demonstram que esses tipos de tratamentos apresentam simplicidade e custos reduzidos de implantação, operação e manutenção frente ao tratamento de ciclo completo.

Esse trabalho objetiva diretamente descrever as principais tecnologias empregadas em estações tratamento de água e sua distribuição geográfica no Brasil. Com a seção seguinte fornecendo o embasamento teórico do trabalho através de revisão de literatura, em seguida apresenta-se as seções de resultados e conclusões.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Descrever as tecnologias de tratamento de água utilizadas no Brasil e sua distribuição geográfica por regiões do País

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar as tecnologias mais utilizadas
- Identificar as tecnologias predominantes por regiões
- Discutir os fatores que determinam a escolha das tecnologias adotadas

3 REVISÃO DE LITERATURA

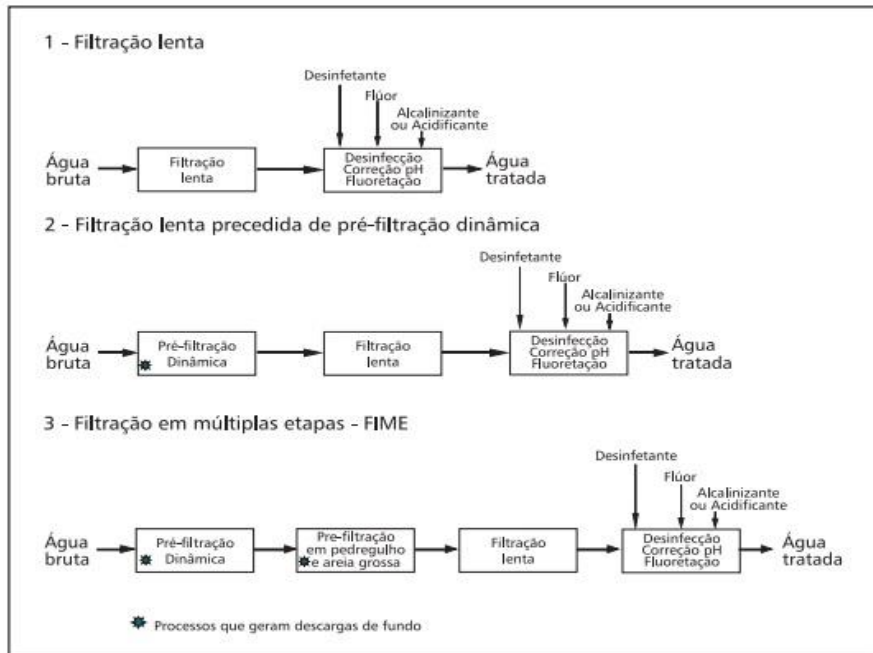
De acordo com a qualidade da água bruta a ser tratada, representada pelos parâmetros turbidez, cor, sólidos em suspensão e coliformes, existe uma tecnologia apropriada. Essas podem ser separadas em duas categorias, as baseadas na filtração rápida, e baseadas em filtração lenta. No primeiro grupo estão presentes as etapas de coagulação química e filtração rápida como etapas principais, enquanto no segundo grupo a coagulação química não está presente, sendo apenas a filtração lenta a principal etapa para o tratamento da água (BRASIL, 2006).

As tecnologias baseadas na filtração lenta, são indicadas para o tratamento de água de boa qualidade, ou seja, baixa turbidez, cor e densidade de algas. Quando a água bruta apresenta cor e maiores valores de turbidez e algas, é exigida a utilização de um dos métodos variantes da filtração rápida, que englobam sequencias de tratamento conhecida por ciclo completo, em que devido a elevados valores de impurezas, a filtração é precedida de outros processos de clarificação, podendo ser decantação ou flotação. Para água bruta com valores médios de impurezas, não superiores a valores que justifiquem o ciclo completo, pode ser utilizada a metodologia de filtração direta, na qual o filtro rápido é o único responsável pela remoção de impurezas (BRASIL, 2006).

A metodologia da filtração direta possui variações devido ao sentido de escoamento da água nos filtros verticais, podendo ser filtração direta ascendente e filtração direta descendente, essa última podendo ou não possuir uma etapa de floculação. E também a variação da filtração direta que utiliza filtros de escoamento ascendente e descendente em sequência, denominado dupla filtração.

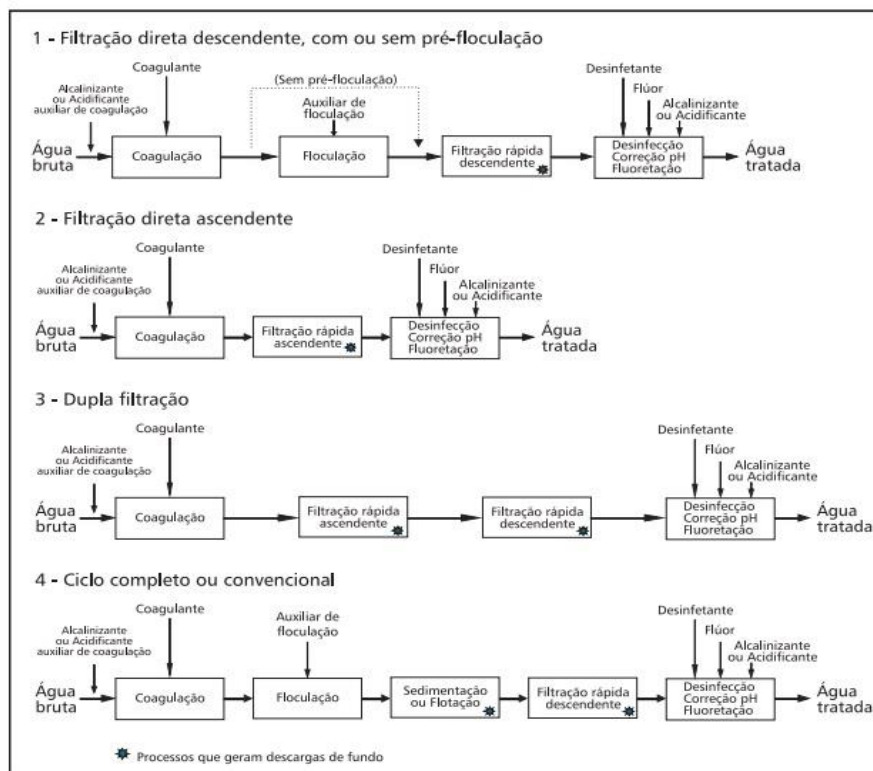
Nas figuras 1 e 2 da página seguinte são apresentados fluxogramas das tecnologias, e as tabelas 1 e 2 apresentam faixas de valores dos parâmetros adequados a cada tecnologia.

Figura 1 - Fluxograma das tecnologias com uso da filtração lenta



Fonte: BRASIL (2006)

Figura 2 - Fluxograma das tecnologias com uso da filtração rápida



Fonte: BRASIL (2006)

Tabela 1 - Parâmetros de qualidade da água bruta sugeridos para técnicas de filtração lenta

CARACTERÍSTICAS DA ÁGUA BRUTA	TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO		
	FILTRAÇÃO LENTA	PRÉ-FILTRAÇÃO DINÂMICA + FILTRAÇÃO LENTA	FIME
Turbidez (uT)	95% ≤ 10	95% ≤ 25	95% ≤ 100
	100% ≤ 25	100% ≤ 50	100% ≤ 200
Cor verdadeira (uC)	95% ≤ 5	95% ≤ 10	95% ≤ 10
	100% ≤ 10	100% ≤ 25	100% ≤ 25
Sólidos em suspensão (mg/L)	95% ≤ 10	95% ≤ 25	95% ≤ 100
	100% ≤ 25	100% ≤ 50	100% ≤ 200
Coliformes totais (NMP/100 mL)	1000	5000	20000
<i>E. coli</i> (NMP/100 ml)	500	1000	5000

Fonte: BRASIL (2006)

Tabela 2 - Parâmetros de qualidade da água bruta sugeridos para técnicas de filtração rápida

CARACTERÍSTICAS DA ÁGUA BRUTA	TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO				
	FILTRAÇÃO DIRETA DESCENDENTE	FILTRAÇÃO DIRETA ASCENDENTE	DUPLA FILTRAÇÃO PEDREG. + AREIA	DUPLA FILTRAÇÃO AREIA G + AREIA	CICLO COMPLETO
Turbidez (uT)	90% ≤ 10	90% ≤ 10	90% ≤ 100	90% ≤ 50	90% ≤ 1500
	95% ≤ 25	95% ≤ 25	95% ≤ 150	95% ≤ 100	
	100% ≤ 100	100% ≤ 100	100% ≤ 200	100% ≤ 150	
Cor verdadeira (uC)	90% ≤ 20	90% ≤ 20	90% ≤ 50	90% ≤ 50	90% ≤ 150
	95% ≤ 25	95% ≤ 25	95% ≤ 75	95% ≤ 75	
	100% ≤ 50	100% ≤ 50	100% ≤ 100	100% ≤ 100	
Sólidos em suspensão (mg/L)	95% ≤ 25	95% ≤ 25	95% ≤ 150	95% ≤ 100	
	100% ≤ 100	100% ≤ 100	100% ≤ 200	100% ≤ 150	
Coliformes totais (NMP/100 mL)	1000 ¹	1000 ¹	5000 ¹	5000 ¹	
<i>E. coli</i> (NMP/100 ml)	500 ¹	500 ¹	1000 ¹	1000 ¹	
Taxa de filtração (m/dia)	200-600 ²	160-240	FAP: 80-180 FRD: 180-600 ²	FAAG: 80-180 FRD: 180-600 ²	200-600 ²

Fonte: BRASIL (2006)

3.1. TRATAMENTO CONVENCIONAL DE ÁGUA

As etapas e processos pela qual a água bruta percorre em uma ETA convencional ou de ciclo completo são:

- Coagulação,
- Floculação,
- Decantação / Flotação,
- Filtração,
- Desinfecção e processos auxiliares.

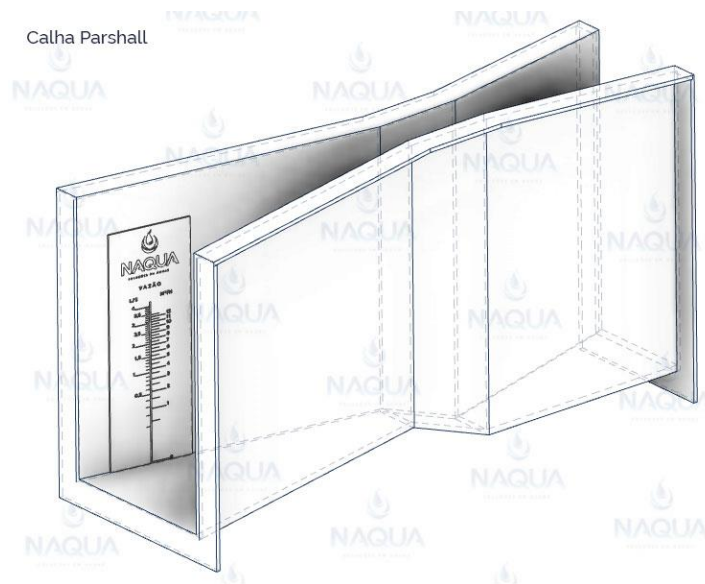
a) Coagulação

Essa etapa inicia na unidade mistura rápida, que segundo definição da NBR 12216/1992, “Operação destinada a dispersar produtos químicos na água a ser tratada, em particular no processo de coagulação”.

Essas unidades fazem uso de dispositivos hidráulicos como vertedores retangulares e calhas Parshall (figuras 3, 4 e 5), que utilizam a energia dissipada em forma de perda de carga no fluxo da água, ou dispositivos mecânicos como os agitadores mecânicos do tipo turbina (figura 6 e 7), para promover a rápida e homogênea dispersão do agente coagulante na água, porque as reações produzidas pela neutralização de cargas e desestabilização dos colóides dispersos na água acontecem instantaneamente (RICHTER, 2009).

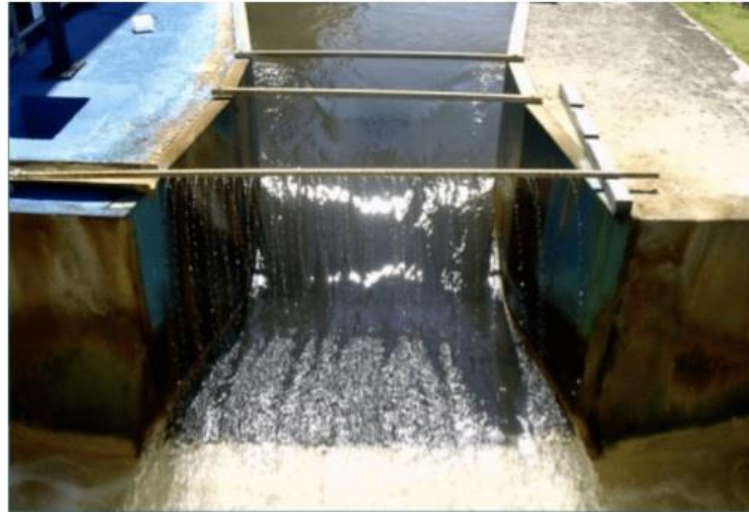
Uma vantagem da utilização de calhas Parshall na entrada da estação é a possibilidade de medição da vazão de entrada por meio de níveis gravados em suas paredes como é mostrado na figura 3.

Figura 3 - Representação de calha Parshall



Fonte: NAQUA (2018)

Figura 4 - Calha Parshall em funcionamento



Fonte: AQUASOLUTION (2020)

Figura 5 - Calha Parshall



Fonte: ENGENHARIA 360 (2020)

Figura 6 - Representação de um misturador mecânico



Fonte: ECOSAN (2016)

Figura 7 - Misturador rápido de eixo vertical



Fonte: ECOSAN (2016)

O processo de coagulação faz-se com o uso de produtos químicos específicos que promovem alterações físico-químicas nos coloides em solução na água, que representam os parâmetros cor e turbidez, de forma que possam ser removidas em etapas de tratamentos seguintes.

O processo de coagulação, usado na maioria das estações de tratamento, envolve a aplicação de produtos químicos para a precipitação dos compostos em solução e desestabilização de suspensões coloidais de partículas sólidas, que de outra maneira, não poderiam ser removidas por sedimentação, flotação ou filtração. (RITCHER, 2009, p. 91).

O processo de coagulação é iniciado com a mistura do agente coagulador na água, para na etapa posterior (floculação) acontecer a agregação das partículas desestabilizadas e formação dos flocos sedimentáveis (RITCHER, 2009).

Pavanelli (2001) afirma em seu trabalho que os principais coagulantes disponíveis no mercado para tratamento de água são, o sulfato de alumínio, hidróxicloreto de alumínio, cloreto férrico e sulfato férrico.

Segundo Richter (2009), o coagulante mais utilizado no tratamento de água é o sulfato de alumínio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$), um ácido corrosivo que pode ser fornecido em pó, em pedras ou granular, bem como líquido. Ainda de acordo com Richter (2009), ao aplicar o coagulante na água, ocorrem reações de hidrólise e polimerização, que são influenciadas pelo pH, íons

em solução, tipo de coloide e coagulante, e suas concentrações, e das condições de mistura do coagulante com a água. Esses fatores são determinantes para a eficiência do processo de coagulação.

Richter (2009) afirma que a água bruta deve apresentar alcalinidade adequada antes do processo para que seja viável a utilização do sulfato de alumínio, que apresenta baixa solubilidade na faixa de pH entre 5 e 7, devendo-se fazer a correção da alcalinidade a montante da etapa com alcalinizantes, como cal virgem ou hidratada ($3\text{Ca}(\text{OH})_2$), Carbonato de sódio, soda caustica, entre outros.

A maior parte dos coagulantes metálicos produzem hidrogênio livre devido sua reação com a água, então esses íons hidrogênio reduzem a alcalinidade natural da água. Se a alcalinidade da água for naturalmente baixa, com o emprego do coagulante pode-se ter um pH em uma faixa abaixo da eficaz para esse coagulante, prejudicando o processo ou mesmo não acontecendo a coagulação (RICHTER, 2009).

Os mecanismos predominantes na coagulação com sulfato de alumínio são adsorção-desestabilização, sendo muito rápidas, completando-se em torno de 1 segundo. Nessas reações as substâncias hidrolisadas e polinucleares de alumínio causam a desestabilização dos coloides por neutralização de sua carga, esse tipo de coagulação é indicada para a tecnologia de filtração direta. E o mecanismo de coagulação por arrasto, que ocorre pela formação de precipitados de hidróxidos de alumínio amorfo, após a etapa de adsorção-desestabilização, que captam as partículas e arrasta consigo. Essa é mais lenta, com duração entre 1 e 7 segundos, formando flocos volumosos, ideal para o processo de sedimentação por decantação (RICHTER, 2009).

Os coagulantes férricos mais utilizados são o sulfato férrico ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$) e cloreto férrico ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$). Os coagulantes férricos estão disponíveis na forma líquida e sólida, são eficientes em uma faixa de pH entre 4 e 11, e se mostram eficientes para a coagulação da cor presente na água a baixos valores de pH, na remoção de ferro e manganês a altos valores de pH, e no processo de abrandamento acelerando a formação dos flocos (RICHTER, 2009).

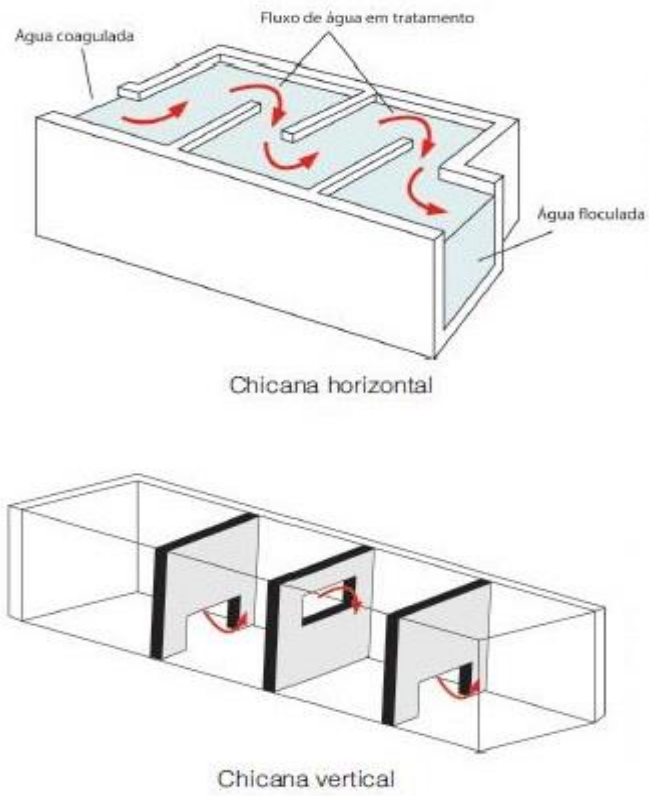
Demandas atuais para tratamento de águas contaminadas são beneficiadas pelo emprego do cloreto férrico ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) como agente coagulante. Algumas características da utilização do cloreto férrico são, diminuição da turbidez e DBO; eliminação de fosfatos; boa parte de alguns metais pesados (mercúrio, chumbo) e metais venenosos (arsênio, selênio, bário) também são eliminados quando a coagulação é realizada a elevados valores de pH (PAVANELLI, 2001).

b) Floculação ou mistura lenta

Processo de agregar as partículas coaguladas ou desestabilizadas no processo de coagulação, com finalidade de formar flocos, a depender da etapa posterior. Se a próxima etapa for decantação, é preferível que na floculação seja formado flocos maiores e com maior peso, para que possibilite uma maior velocidade de sedimentação ao material na etapa de separação (decantação) ou que possam ter tamanho suficiente para ser retido no processo de filtração. Caso a etapa de separação seguinte seja por flotação, a floculação deve fornecer flocos que tenham densidades menores, para possibilitar sua flutuação até a superfície da água (RICHTER, 2009).

Richter (2009), afirma que a energia aplicada para movimentar a água no tanque de floculação pode ser, como na mistura rápida, por meios hidráulicos, mecânicos e/ou pneumáticos, diferenciando-se pela intensidade, que na floculação é bem menor que na mistura rápida. Ainda segundo Richter (2009), os floculadores hidráulicos mais utilizados são os de chicanas (figuras 8, 9 e 10), que são obstáculos ao fluxo da água, com o fluxo podendo ser horizontal, em que a água muda o sentido sucessivas vezes entre as chicanas do tanque, ou vertical, em que a água descreve uma trajetória de sobe e desce entre as aberturas alternadas nas chicanas do tanque.

Figura 8 - Representação de flocladores de chicanas



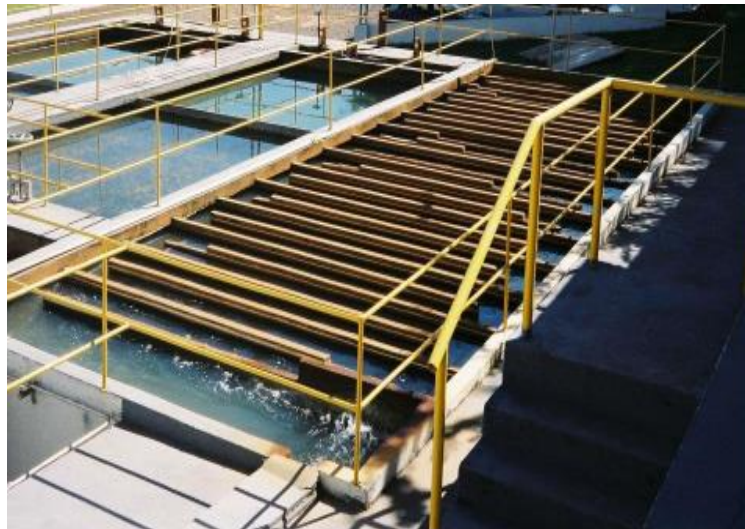
Fonte: REVISTA TAE (2013)

Figura 9 - Floclador de chicanas com fluxo vertical



Fonte: ROSCHILD (2016)

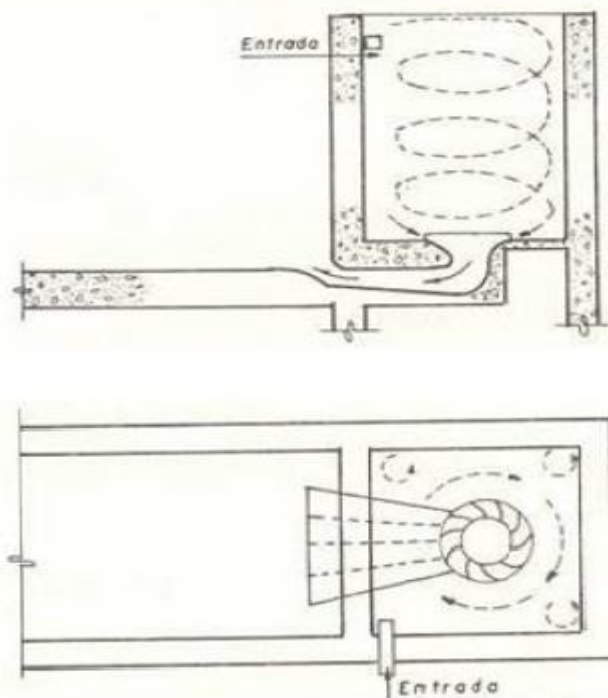
Figura 10 - Floculador de chicanas com fluxo horizontal



Fonte: ROSCHILD (2016)

Ainda dentro da categoria dos hidráulicos há os floculadores de fluxo helicoidal (figura 11), onde o fluxo é gerado a partir da disposição em sentidos opostos dos dispositivos de entrada e saída do tanque (PELISSARI, 2006).

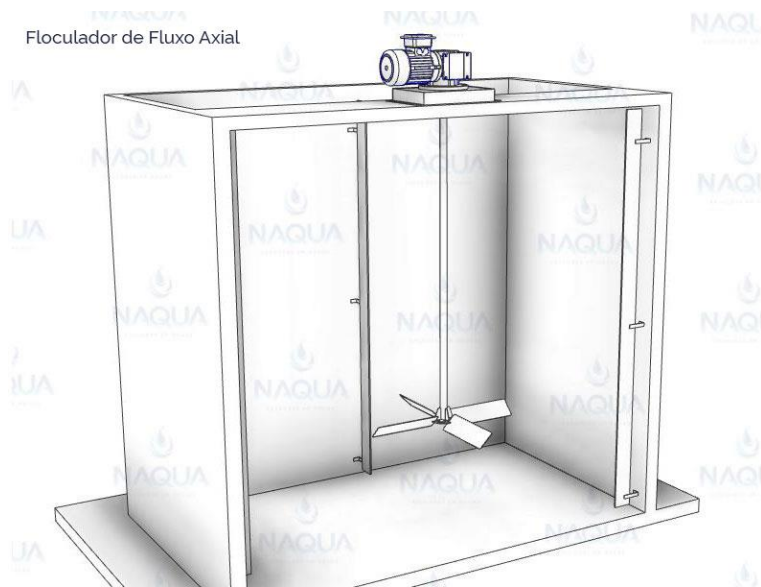
Figura 11 - Esquema de um floculador de fluxo helicoidal em corte e planta



Fonte: PELISSARI (2006)

Devido a desvantagens como a limpeza mais difícil, hidráulica e parâmetros de floculação com ajustes complicados, entre outros, os floculadores hidráulicos estão quase em desuso, optando-se pelo emprego dos floculadores mecânicos (figuras 12, 13 e 14), que se distinguem pelo tipo de movimento provocado. Os floculadores mecânicos podem ser de paletas (figura 14), com baixa velocidade de rotação, ou turbinas, de velocidade relativamente alta (RICHTER, 2009).

Figura 12 - Representação de um floculador mecânico de fluxo axial



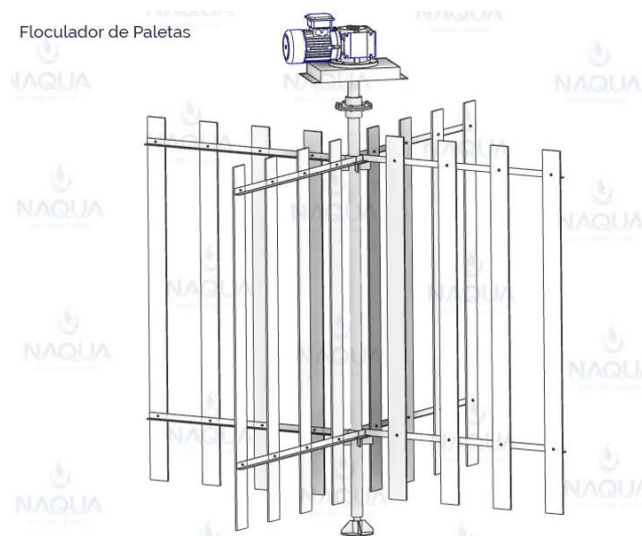
Fonte: NAQUA (2018)

Figura 13 - Floculador mecânico



Fonte: ECOSAN (2016)

Figura 14 - Floculador de paletas



Fonte: NAQUA (2018)

c) Decantação / Flotação

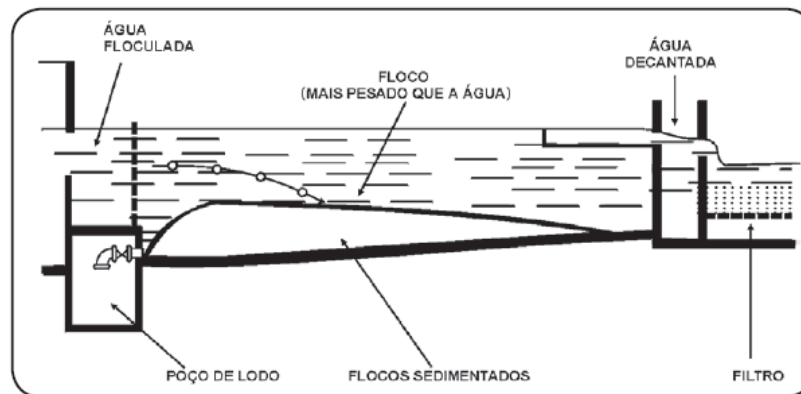
1. Decantação

A decantação utiliza-se do processo de sedimentação para realizar parte da clarificação da água, é o processo mais comumente utilizado em estações de tratamento. Para tal, são utilizados basicamente dois tipos de decantadores, o de fluxo horizontal (figura 15 e 16) e o tubular ou de alta taxa (figura 17, 18 e 19) (RICHTER, 2009).

1.1. Decantador de fluxo horizontal

Segundo Richter (2009), os decantadores de fluxo horizontal (figura 15 e 16) foram os primeiros modelos a serem desenvolvidos e utilizados a partir do século XIX. Tem alta eficiência, simplicidade de operação e pouca sensibilidade a sobrecarga. A velocidade do escoamento é limitada a determinado valor para que se evite a ressuspensão dos flocos e o arrasto dos flocos depositados, essa limitação é acompanhada por uma adoção de profundidade mínima, que em decantadores convencionais pode estar entre 3,5 e 4,5 metros.

Figura 15 - Representação de um decantador de fluxo horizontal



Fonte: FUNASA (2007)

Figura 16 - Decantador de fluxo horizontal em funcionamento



Fonte: GUIA ECOLÓGICO (2016)

1.1. Decantadores tubulares ou de alta taxa

De acordo com o livro de Richter (2009), esses decantadores foram desenvolvidos a partir de estudos sobre decantadores de fundo múltiplo, notadamente por Allen Hazen (1904), que concluiu:

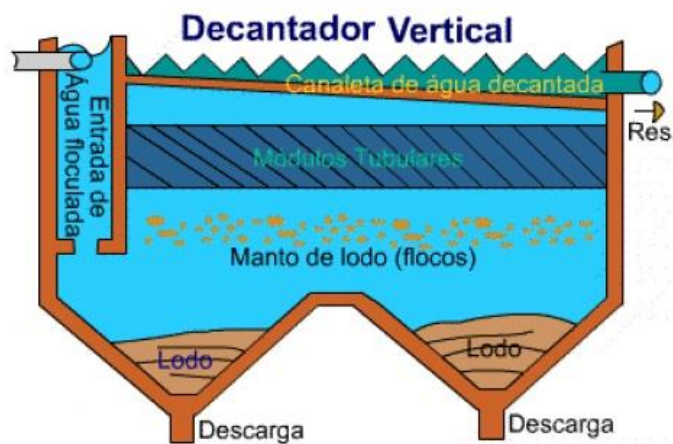
A ação de um tanque de sedimentação depende de sua área e não de sua profundidade. Uma subdivisão horizontal produziria uma superfície dupla para receber sedimentos, em lugar de uma única, e duplicaria sua capacidade de trabalho. Três subdivisões triplicariam e, assim, sucessivamente. Se o decantador pudesse ser cortado por um serie de bandejas horizontais, em um grande número de células de pouca profundidade, o incremento de eficiência seria muito grande. (RICHTER, 2009, p. 178).

E assim foram sendo desenvolvidos módulos de elementos tubulares com canais inclinados para que se possa realizar a limpeza facilmente com descarga da água de lavagem em fluxo contrário.

Então, a água vinda dos tanques de floculação entra pela extremidade de fundo dos decantadores tubulares (figuras 17, 18 e 19), percorrem os canais depositando neles por

sedimentação as partículas e flocos aglutinados, descrevendo um fluxo ascendente, em seguida, a água decantada é coletada na superfície do decantador. Contudo, esses módulos ainda têm custo elevado, o que levou pesquisadores a desenvolverem placas planas paralelas como alternativa, essas placas podem ser de cimento amianto ou madeira, e ainda mais recente o uso de lâminas flexíveis de plástico como alternativa eficiente e de menor custo (RICHTER, 2009).

Figura 17 - Representação de um decantador tubular



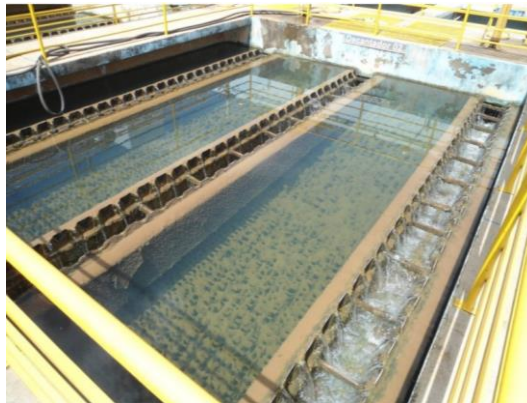
Fonte: ROSCHILD (2016)

Figura 18 - Decantador com módulos tubulares



Fonte: ECOSAN

Figura 19 - Decantador de fluxo vertical em funcionamento



Fonte: www.saep-piras.com.br

2. Flotação

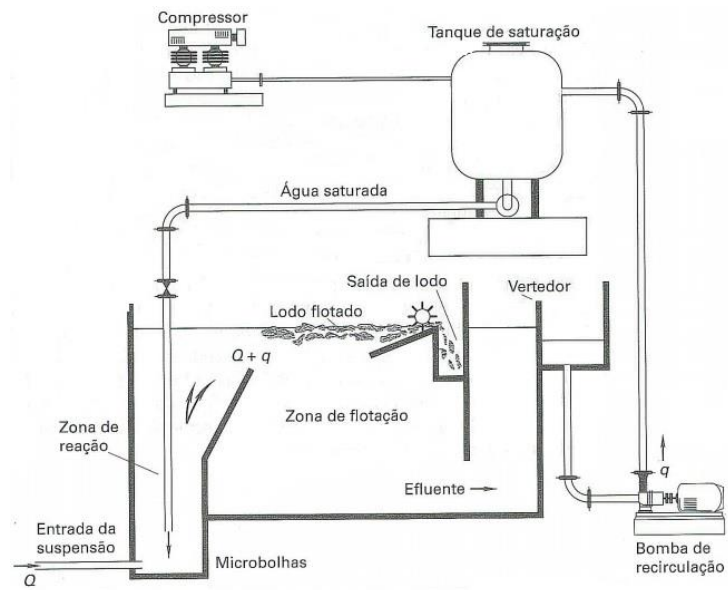
Segundo Heller e Pádua (2010), quando os processos de coagulação e floculação resultam na formação de partículas com baixa velocidade de sedimentação, é necessário a utilização de decantadores de grandes dimensões, o que se traduz em um processo com baixa taxa de aplicação superficial, e uma alternativa a essa situação é o uso de flotores.

Nesse processo ocorre a separação das partículas sólidas em suspensão na água, de forma que elas flutuem (flotar, do inglês *float*) até a superfície permitindo sua remoção. Esse processo é possível através da utilização de pequenas bolhas de ar, origem da nomenclatura flotação a ar dissolvido, que se agregam às partículas dispersas, diminuindo sua densidade e permitindo a ascensão à superfície. Essas bolhas de ar são produzidas através da redução de pressão de uma pequena quantidade de água, que foi anteriormente saturada de ar em um tanque de saturação, e depois conduzidas aos tanques de flotação (RICHTER, 2009).

Por meio de uma bomba, uma pequena quantidade de água clarificada (5% a 10 % da vazão que passa pela unidade) é elevada à pressão de 4-5,5 atm e conduzida ao tanque de saturação, onde se torna saturada de ar alimentado por um compressor. Esta água, que é recirculada no sistema, vê sua pressão diminuída bruscamente, liberando uma grande quantidade de microbolhas de ar, que aderem aos flocos já formados, fazendo-os flutuar. (RICHTER, 2009, p. 219)

A figura 20 mostra um esquema de funcionamento de uma unidade de floculação que são utilizadas em estações de tratamento, em seguida a figura 21 mostra um tanque de flotação utilizado por uma estação de tratamento.

Figura 20 - Representação de um sistema de flotação



Fonte: RICHTER (2010)

Figura 21 - Tanque de flotação



Fonte: CONSULTEC PA

d) Filtração

Etapa do processo de tratamento de água responsável por reter partículas presentes na água, não removidas em etapas anteriores, por meio de tanques contendo material poroso formando barreiras sucessivas que retêm as partículas ou outros materiais ainda presentes na água.

Os processos de filtração podem utilizar-se de diferentes modelos de filtros (rápidos ou lentos) dependendo da cadeia de processamento da estação. Em estações de tratamento convencionais geralmente são empregados filtros rápidos (figura 22), apresentando maiores taxas de processamento, de acordo com Richter (2009), com taxas entre 120 e 480 m³/m². dia.

A filtração é um processo físico-químico e, em alguns casos, biológico (filtros lentos) para a separação de impurezas em suspensão na água, mediante sua passagem por um meio poroso. Diversos materiais podem ser usados como meio poroso. A areia é o mais comum, seguido do antracito, areia granulada, carvão ativado granular etc. (RICHTER, 2009, p.237)

Heller e Pádua (2010) descrevem os mecanismos de ação da filtração no meio granular como sendo três: transporte, aderência e desprendimento. O mecanismo de transporte é o responsável por levar as partículas na água até as proximidades dos grãos do meio filtrante (coletores), à medida que as partículas se aproximam dos coletores ocorrem forças de ação superficial de forma a aderir-las aos grãos ou outras partículas já aderidas. Ao longo do processo há um acúmulo de material aderido, diminuindo os espaços percorridos pela água, o que ocasiona aumento da velocidade de escoamento e das forças de cisalhamento que agem nas partículas aderidas, ao ponto de causar o desprendimento e o carreamento para outras camadas e até mesmo para o efluente que sai dos filtros.

As partículas presentes na água são retidas no meio filtrante, que com o tempo aumenta a perda de carga no filtro. O filtro então deve ser tirado de operação quando se ultrapassar o valor de perda de carga máximo estabelecido em projeto. Além do parâmetro da perda de carga, tem-se o padrão de potabilidade da água que com o tempo também se altera.

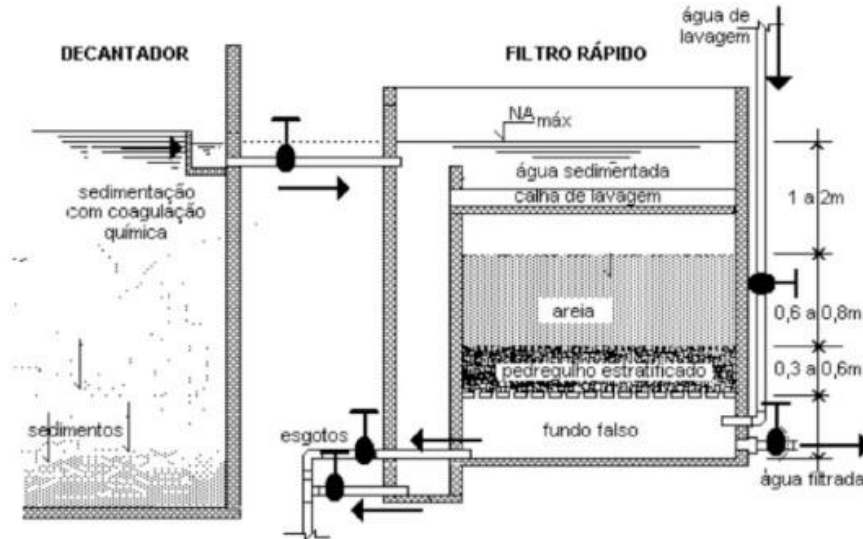
Como descrevem Heller e Pádua (2010), o momento ideal de interromper para limpeza é aquele em que as duas condições limites são atingidas simultaneamente, porém, nunca se deve permitir que a água advinda dos filtros esteja fora dos padrões de potabilidade, logo, o filtro deve pausar mesmo sem atingir a perda de carga máxima.

Os filtros rápidos necessitam serem lavados periodicamente (entre 1 e 3 dias) e a lavagem ocorre pelo fluxo de água e ar ou apenas água a altas taxas, com volumes entre 1 e 6 % da água processada pelo filtro, em sentido contrário ao de filtragem (RICHTER, 2009).

Heller e Pádua (2010) afirmam que os filtros devem ser projetados para que as carreiras de filtração tenham duração mínima de 20 h, para que se evite carreiras de filtração muito curtas, que irão aumentar o consumo de água para lavagem. E também que carreiras de filtração longas devem ser evitadas, para evitar o aumento da força de aderência das impurezas aos grãos do meio filtrante, o que irá dificultar a remoção dos sólidos durante as lavagens do filtro.

Uma velocidade do fluxo da água de lavagem é determinada para que cause expansão e fluidizem os grãos do meio filtrante, de modo que não cause fuga para outras camadas ou carreamento junto a água de lavagem. Essa movimentação causada pela água em fluxo ascendente no meio filtrante faz com que as partículas retidas e aderidas aos grãos se desprendam e sejam carregadas pela água às canaletas, que recolhem a água de lavagem e levam até a descarga (RICHTER, 2009).

Figura 22 - Esquema de um filtro rápido



Fonte: PANORAMA PRÉ-FILTROS

e) Desinfecção e processos auxiliares.

1) Desinfecção

A etapa de desinfecção tem o objetivo de eliminar parcialmente a presença de microrganismos patogênicos na água, a eliminação total seria esterilização. Segundo Richter (2009), essa etapa é necessária visto que não é possível assegurar a remoção total pelos processos contidos no tratamento de água.

O mecanismo de desinfecção depende da natureza do produto utilizado e do tipo de organismo que se deseja inativar ou destruir. Os agentes químicos de desinfecção podem atuar causando a inativação de enzimas essenciais para os processos vitais, que se encontram no citoplasma dos microrganismos. Alguns microrganismos como vírus da hepatite e da poliomielite não são completamente destruídos por técnicas usuais de desinfecção. Em geral, os vírus são muito mais resistentes que as bactérias (RICHTER, 2009).

O processo mais utilizado é a cloração, sendo o cloro disponível em estado sólido, líquido e gasoso, tendo como seus representantes o cloro elementar (Cl_2), Hipoclorito de sódio e hipoclorito de cálcio, respectivamente (RICHTER, 2009).

A forma mais eficiente e barata é o cloro gasoso, que são armazenados em grandes estações na forma líquida sob pressão em cilindros de aço. Tem como vantagens a fácil aplicação, e o teor residual facilmente determinável, que ajuda a proteger os sistemas de distribuição. A desvantagem é a sua periculosidade, por ser um gás venenoso e corrosivo, letal em concentração no ar na ordem de 0,1% em volume, e problemas de odor e sabor na presença de fenóis. Há também a formação de trihalometanos (THM), compostos clorados resultantes, possivelmente cancerígenos, resultantes de reações do cloro com compostos orgânicos. Estudos indicam que as algas são possíveis precursoras dos THM, e a cloração de matéria orgânica proveniente delas produz clorofórmio (FUNASA, 2014).

O cloro também é utilizado na água bruta para oxidar compostos inorgânicos como sulfetos, ferro, manganês etc. Os compostos resultantes da oxidação são insolúveis, o que possibilita sua remoção por filtração.

A portaria de consolidação nº 5/2017, anexo XX, do Ministério da Saúde estabelece um teor de cloro residual livre mínimo de 0,5 mg/L na saída da estação, devendo haver obrigatoriamente 0,2 mg/L em qualquer ponto da rede de distribuição.

Recomenda também que na cloração tenha-se um tempo de contato mínimo de 30 minutos, e seja realizada com pH abaixo de 8.

O cloro residual presente na água da rede de distribuição funciona como uma reserva de potabilidade para caso microrganismos ou impurezas advindos da estação entrem na rede, e também como proteção às chamadas ferrobactérias, que extraem o ferro da canalização e formam hidróxido de ferro gelatinoso que adere às paredes provocando obstruções (RICHTER, 2009).

2) Processos auxiliares

a) Remoção de dureza

A portaria do Ministério da Saúde nº N° 5/2017 estabelece 500mg/L de concentração total de cálcio e magnésio para água potável. A quantidade excessiva dos íons torna a água imprópria para consumo. Os íons são originários de depósitos subterrâneos de calcário (CaCO_3) ou dolomita ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$), que liberam excessivos íons Ca^{2+} e Mg^{2+} por meio de bicarbonato (HCO_3^-), nitratos (NO_3^-), cloretos (Cl^-) e sulfatos (SO_4^{2-}), também pode ocorrer a dureza devido a íons de ferro (Fe^{2+}), manganês (Mn^{2+}), estrôncio (Sr^{2+}), e alumínio (Al^{3+}). A remoção de dureza da água é chamada abrandamento e pode ser realizado por processo denominado cal-soda, em que é feita adição de cal (CaO) e carbonato de sódio (Na_2CO_3). Com as reações ocorre a precipitação de carbonato de cálcio (CaCO_3), carbonato de magnésio (MgCO_3) e hidróxido de magnésio ($\text{Mg}(\text{OH})_2$) que sofrem sedimentação.

b) Correção de pH

O processo de correção de pH é realizado sobre a água bruta, de forma que, segundo Richter (2009) alcance a alcalinidade necessária à adequada solubilidade do coagulante no processo de coagulação. E de acordo com Brasil (2006), é feita também antes de entrar na rede de distribuição, em tanques de contato (figura 23), para que o pH não seja prejudicial para as tubulações da rede de distribuição, por meio da eliminação do gás carbônico (CO_2) livre, geralmente utiliza-se hidróxido de cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$).

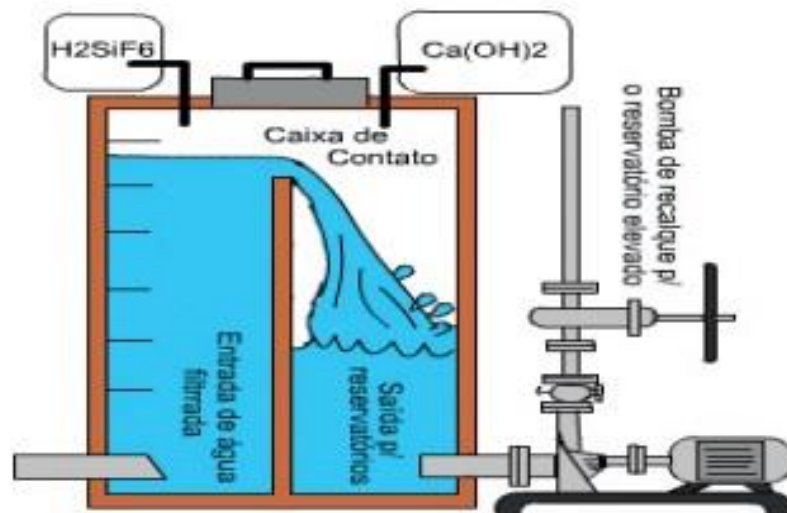
c) Fluoretação

A fluoretação da água para consumo humano é uma medida prevenção contra cárie dentária, que reduz a prevalência entre 50% e 65% em populações sob exposição contínua desde o nascimento, por um período de aproximadamente dez anos de ingestão da dose ótima. É um processo seguro, econômico e adequado. A implantação

da fluoretação poderá ser realizada com os produtos que em sua seleção contemplem a eficácia, grau de solubilidade, custo, continuidade de fornecimento pelo fabricante, distância entre a fonte produtora e o consumidor, transporte, estocagem, manuseio do composto e riscos operacionais. Os produtos que se enquadram nestas características são: Ácido Fluossilícico (H_2SiF_6) e Fluossilicato de Sódio (Na_2SiF_6) (FUNASA, 2014).

A dosagem do flúor é realizada através de dispositivos como o cone de saturação (figura 24), e aplicada em tanque de contato (figura 23), e ultimamente é muito empregado as bombas dosadoras (figura 25), em que o flúor é misturado em um tanque e recalado ao ponto de aplicação (FUNASA, 2014).

Figura 23 - Tanque de contato para adição de flúor e correção de pH



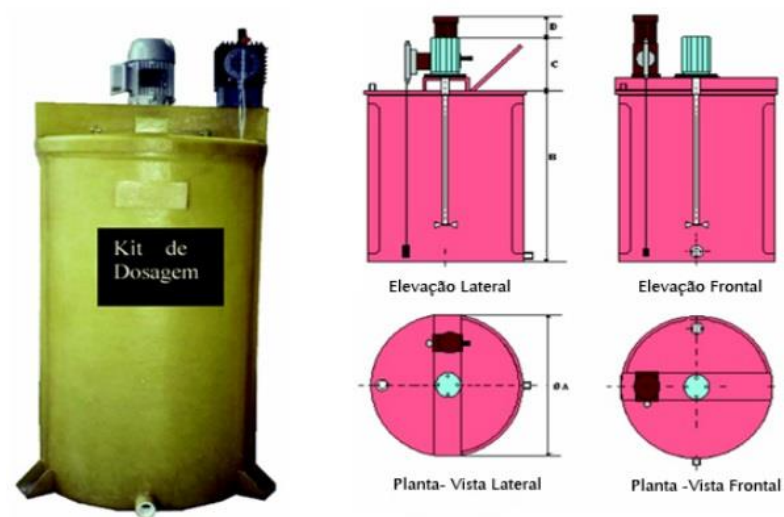
Fonte: FUNASA (2014)

Figura 24 - Cone de saturação para dosagem de flúor



Fonte: FUNASA (2014)

Figura 25 - Dispositivo de fluoretação de água por bomba



Fonte: FUNASA (2014)

3.2. Tratamento de água por filtração lenta

A filtração lenta é um método de tratamento da água, utilizado para o tratamento de pequenos volumes, devido a características do processo como a baixa taxa de aplicação superficial. Basicamente o processo de tratamento ocorre fazendo-se a água atravessar um elemento filtrante, areia é o mais comum, e também antracito e carvão ativado, que consegue reter as impurezas da água. Uma camada de seixos ou pedregulhos servem de base para o elemento filtrante (MELO, 2006; RICHTER, 2009).

Segundo Richter (2009), a denominação de lento é designado em filtragens com taxas inferiores a 12 m³/m². dia, e é composto por um tanque (figura 26) com leito de areia como elemento filtrante, dispositivos de controle e medição de vazão, recolhimento da água filtrada, drenagem e carregamento após a raspagem da camada superficial. São eficientes quando a água bruta apresenta as seguintes características; turbidez menor que 50 UNT (unidades nefelométricas de turbidez), cor inferior a 20 UC (unidade de cor) e coliformes NMP/100 ml < 2000.

Melo (2006) esclarece em seu trabalho que a baixa taxa de processamento, que faz com que a água fique mais tempo em contato com o elemento filtrante, favoreça a formação de um filme biológico na superfície denominado “*scmutzdecke*”, que é formado por microrganismos e detritos presentes na água.

Nos filtros lentos acontecem importantes atividades biológicas que favorecem a remoção de impurezas, e seus principais mecanismos são, segundo Haarhoff e Cleasby (1991 apud MELO 2006, p.09), oxidação bioquímica, predação, saprofagia, inativação e morte dos microrganismos, desinfecção por radiação solar, adsorção, entre outros.

Estudos de Wheeler et al (1988 apud MELO 2006, p.10) atribuem à predação microbiana, adsorção no biofilme, e adsorção pelas superfícies não biológicas, a remoção de vírus nos filtros lentos.

Melo (2006) acredita que a atividade biológica é um fator preponderante na eficiência do filtro, e como descrito por Haarhoff e Cleasby (1991 apud MELO 2006, p.10), a atividade biológica é mais intensa nos primeiros 10 cm do filtro. Essa camada pode levar alguns dias para se formar, sendo esse período denominado de tempo de maturação do filtro.

Segundo Bellamy et al (1985 apud MELO, 2006, p.10) a eficiência dos filtros lentos é comprovada em seu estudo para a remoção de cistos de giárdia e coliformes, e quando o meio

filtrante se encontrava maturado, a eficiência de remoção alcançava 99% e 100%, para coliformes e cistos, respectivamente.

Timms et al (1995 apud MELO, 2006, p.10) afirma em seu trabalho que o filtro lento também é eficiente na remoção de *Cryptosporidium*, um protozoário que parasita humanos e animais, causando diarreia, e que possuem oocistos resistentes a métodos de desinfecção por cloro, apresentando remoção superior a 99,97%.

Para Richter (2009), as vantagens do filtro lento (figura 26, 27 e 28) são sua simplicidade de operação e construção, com altura em geral entre 2,5 e 3,5 metros, e relação entre largura e comprimento de 2:1. Como desvantagem temos: grande área necessária para implantação em casos de tratamento de grandes volumes de água bruta; baixa eficiência no tratamento de água bruta com elevada turbidez; baixa remoção de cor; presença de algas causa problemas de operação; elevada duração da limpeza do leito filtrante, que pode durar dias ou semanas, sobrecarregando os demais filtros.

Di Bernardo et al (1999) fornece informações sobre dimensionamento de filtros lentos que estão apresentadas na tabela 3.

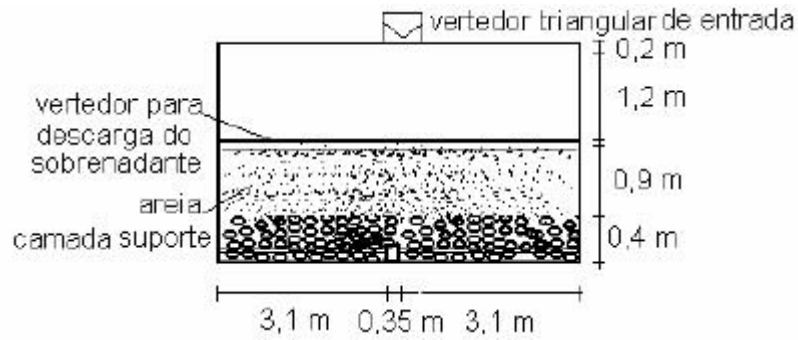
Tabela 3 - Critérios para dimensionamento de filtração lenta

Parâmetro	Recomendação ou Valor Recomendado
Período de funcionamento diário (h/d)	24
Número mínimo de unidades	2
Taxa de filtração (m/d)	3 a 6
Meio filtrante (*)	
Areia	
- tamanho dos grãos (mm)	0,08 a 1,0
- tamanho efetivo (mm)	0,15 a 0,25
- coeficiente de desuniformidade	2 a 5
- espessura inicial da camada (m)	0,8 a 1,0
Camada suporte	
- espessura (cm) e tamanho do pedregulho da subcamada 1 (mm)	10 a 15 ; 19,0 a 31,0
- espessura (cm) e tamanho do pedregulho da subcamada 2 (mm)	5 a 10 ; 12,7 a 19,0
- espessura (cm) e tamanho do pedregulho da subcamada 3 (mm)	5 a 10 ; 6,4 a 12,7
- espessura (cm) e tamanho do pedregulho da subcamada 4 (mm)	5 a 10 ; 3,2 a 6,4
- espessura (cm) e tamanho do pedregulho da subcamada 5 (mm)	5 a 10 ; 1,41 a 3,2
Borda livre (m)	0,1 a 0,2
Área máxima (em planta) de uma unidade (m ²)	200

(*) no caso de previsão do uso de mantas sintéticas não tecidas, deve-se verificar sua disponibilidade no mercado a um custo razoável.

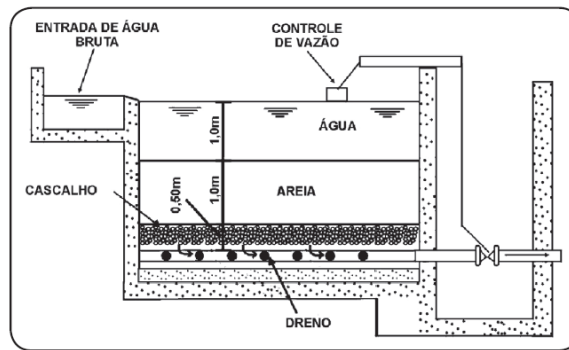
Fonte: DI BERNARDO et al (1999)

Figura 26 - Esquema de corte de filtro lento



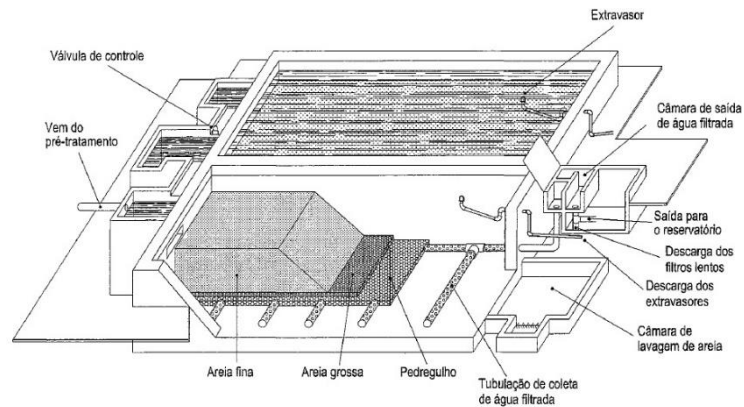
Fonte: DI BERNARDO et al (1999)

Figura 27 - Esquema de corte de filtro lento detalhado



Fonte: FUNASA (2007)

Figura 28 - Representação de um filtro lento de areia



Fonte: DI BERNARDO et al (1999)

3.3. Tratamento por Filtração em Múltiplas Etapas (FiME)

Essa tecnologia de tratamento assemelha-se à filtração lenta no sentido de não utilizar coagulação, e por utilizar filtros lentos, porém é dita como uma evolução dela, de forma que é possível que a água bruta a ser tratada possua qualidade inferior àquela requerida pelo sistema que utiliza apenas a filtração lenta sem pré-tratamento. Isso deve-se à processos adicionais que estão presentes nesse sistema de tratamento, como unidades de pré-tratamento, que consistem em filtros de maior granulometria, que são os pré-filtros dinâmicos e pré-filtros ascendentes em pedregulho, responsáveis por condicionar a água afluenta ao filtro lento (DI BERNARDO et al, 1999).

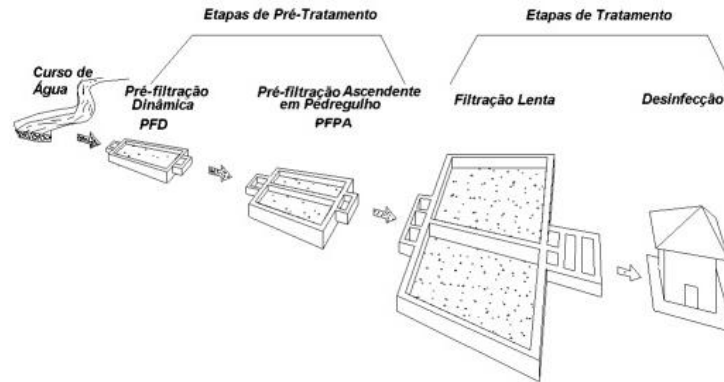
O princípio básico é tornar a água adequada à etapa posterior, sem sobrecarregá-la, ou seja, reduzindo o tempo de colmatação de seu meio granular, assegurando um efluente com características apropriadas ao processo de tratamento adotado (DI BERNARDO et al, 1999).

Heller e Pádua (2010) afirmam que o pré-tratamento deve ser previsto em casos de excesso de sólidos em suspensão na água bruta, a fim de evitar sobrecarga dos filtros lentos, cuja turbidez máxima do afluenta, segundo diversos autores, não deve superar a 10 UNT, logo, para tratamento de águas cuja turbidez pode ser elevada nos períodos de chuva ou no caso de águas captadas de represas que podem apresentar florescimentos de algas, o pré-tratamento deve estar presente no sistema, para que as carreiras de filtração não sejam demasiadamente curtas, inviabilizando o emprego da filtração lenta.

Segundo Veras (2008), a Filtração em Múltiplas Etapas é um sistema de simples construção e instrumentação, com baixo custo de instalação. E é uma tecnologia apropriada para zonas rurais e pequenos e médios municípios.

A figura 29 na página seguinte ilustra uma estação de tratamento de filtração em múltiplas etapas e o caminho percorrido pela água. Primeiro a água bruta chega até os pré-filtros dinâmicos (PFD), que tem como função a remoção de material grosseiro presente na água. Logo após, a água passa pelos pré-filtros ascendentes em pedregulhos (PFPA) antes de ser introduzida nos filtros lentos, que é a última etapa da FiME (SAKAMOTO, 2013).

Figura 29 - Representação esquemática de uma ETA por FiME



Fonte: DI BERNARDO et al (1999)

a) Pré-Filtro Dinâmico

Segundo Veras (2008), os pré-filtros dinâmicos (figura 30) são instalações destinadas a reduzir a quantidade de sólidos suspensos, de forma que seja mitigado a ocorrência de problemas de operação e manutenção nas unidades subsequentes. O termo dinâmico se deve à capacidade de suportar crescentes cargas de sólidos.

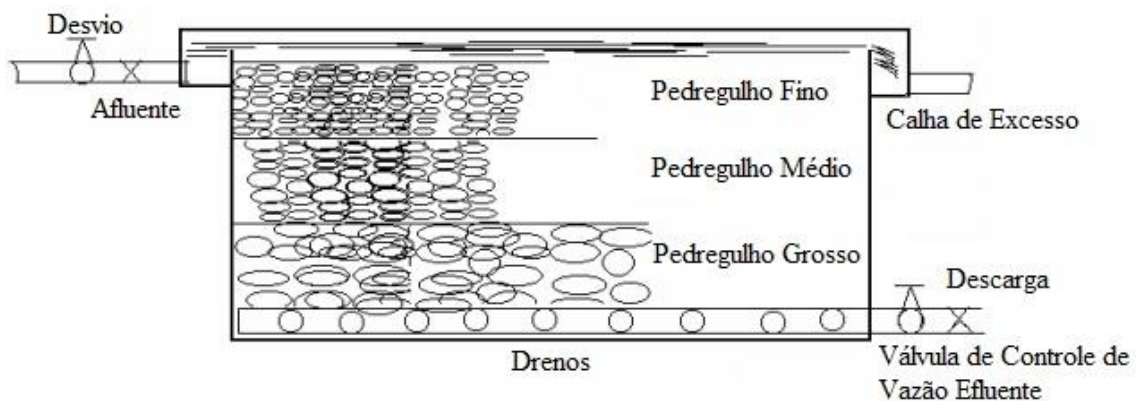
Di Bernardo et al (1999), acrescenta que a pré-filtração dinâmica tem a finalidade de remover sólidos grosseiros, mas organismos e material fino são parcialmente removidos também. Quando se tem a pré-filtração grosseira após a pré-filtração dinâmica, esta última pode ser projetada tanto para remover impurezas quanto para amortecer picos de turbidez ou de sólidos suspensos, o que dependerá essencialmente da qualidade da água bruta.

A remoção de microrganismos é considerável, sendo reportadas eficiência da ordem de 80 a 90 % de remoção de coliformes totais e fecais nas unidades de pré-filtração dinâmica, garantindo o funcionamento adequado da tecnologia de tratamento posterior sem coagulação química (DI BERNARDO et al, 1999).

O meio granular do pré-filtro dinâmico é constituído de pedregulho com granulometria variada, sendo a de tamanho menor no topo e maior no fundo, e com seu funcionamento há um progressivo acréscimo de impurezas no meio, e a diminuição da vazão de água efluente, devido ao aumento da perda de carga, exigindo ajustes na válvula da tubulação efluente para que a vazão de água permaneça aproximadamente constante. No momento em que a válvula na tubulação de água efluente for totalmente aberta e a vazão de água diminuir, fica indicado que se deve fazer a limpeza do meio granular da unidade (DI BERNARDO et al, 1999).

A limpeza procede-se da seguinte forma, fecha-se a válvula da tubulação efluente, causando assim o escoamento da água pela calha de excesso, então um operador deve revolver a camada de pedregulho superior, o que causa o arraste das impurezas pela água até a calha. (DI BERNARDO et al, 1999).

Figura 30 - Representação de um pré-filtro dinâmico



Fonte: DI BERNARDO et al (1999)

b) Pré-filtração Ascendente em Pedregulho

A filtração ascendente pode ser realizada em unidade única (figura 31 e 33), denominado em camadas (PFPAC), sendo os pedregulhos dispostos com granulometria menor em cima, e aumentando gradualmente até o fundo do tanque. Ou podem ser do tipo em série (PFPAS), constituído de duas ou mais unidades (figura 32), cada unidade contendo granulometria única, sendo a primeira unidade com a maior granulometria. A água filtrada na primeira unidade é encaminhada para a segunda, e assim sucessivamente até estar apta ao ingresso no filtro lento. Há também o pré-filtro em escoamento horizontal, que é menos utilizado por questões de manutenção (DI BERNARDO et al, 1999).

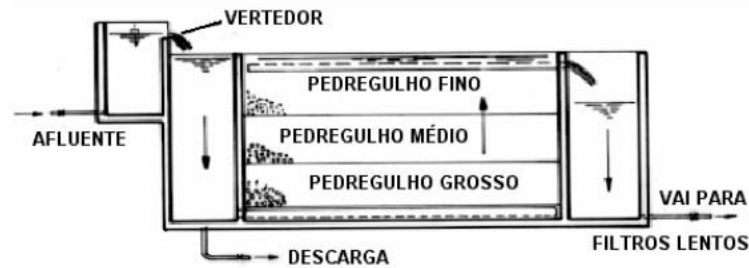
A granulometria do material filtrante do pré-filtro em pedregulho situa-se entre 4 e 20 mm e, geralmente, operam com taxa de filtração de entre 7,2 e 36 m³/m². dia, de acordo com Wegelin (1996 apud FARIAS 2011, p.24).

Galvis et al. (1996 apud FARIAS, p.24) desenvolveram estudos comparando os desempenhos de três tipos de pré-filtros de pedregulho, analisando turbidez, sólidos suspensos e coliformes termotolerantes. O pré-filtro de escoamento ascendente em série apresentou melhores resultados, removendo 80% de turbidez, 97,9% de sólidos suspensos e 99,4% de coliformes termotolerantes.

Di Bernardo et al (1999) apresentam em seu trabalho informações sobre dimensionamento de pré-filtros ascendentes (tabela 4 e 5) e afirmam que há dados na literatura relatando substancial remoção de algas, coliformes, protozoários, metazoários e rotíferos nos pré-filtros em pedregulho de escoamento vertical ascendente, de modo que, precedidos por pré-filtros dinâmicos, esse tipo de pré-tratamento pode resultar muito seguro do ponto de vista sanitário e altamente recomendável para comunidades de pequeno e médio porte, adequando as características da água para posterior tratamento por meio da filtração lenta.

Como grande parte das impurezas poderão ser retidas nos pré-filtros com escoamento vertical (ascendente ou descendente) ou horizontal, é conveniente que estas unidades possuam dispositivos que permitam a realização de descargas de fundo periódicas (DI BERNARDO et al, 1999).

Figura 31 - Esquema de um pré-filtro ascendente em camadas (PFPAAC)



Fonte: DI BERNARDO et al (1999)

Figura 32 - Esquema de um pré-filtro ascendente em camadas (PFPAS)



Fonte: DI BERNARDO et al (1999)

Tabela 4 - Critérios de dimensionamento de PFPAC

Parâmetro	Recomendação ou Valor Recomendado - PFPAC
Método de Operação	contínuo
Taxa de Aplicação (m/d)	12 a 36
Número Mínimo de Unidades em Paralelo	2
Altura Mínima da Lâmina Líquida sobre a Superfície do Meio Granular (cm)	20
Taxa Mínima de Descarga para Limpeza (m/d)	400
Espessura das Subcamadas e Material Granular	
- suporte	0,25 a 0,35 m ; 19,0 a 31,0 mm
- subcamada inferior	0,2 a 0,3 m ; 12,7 a 19,0 mm
- subcamada intermediária 1	0,2 a 0,3 m ; 6,4 a 12,7 mm
- subcamada intermediária 2	0,2 a 0,3 m ; 3,2 a 6,4 mm
- subcamada superior	0,2 a 0,4 m ; 1,68 a 3,2 mm

Fonte: DI BERNARDO et al (1999)

Tabela 5 - Critérios de dimensionamento de PFPAS

Parâmetro	Recomendação ou Valor Recomendado - PFPAS
Método de Operação	Contínuo
Taxa de Aplicação (m/d)	12 a 36
Número Mínimo de Unidades em Paralelo	2
Altura Mínima da Lâmina Líquida sobre Topo do Meio Granular de cada Câmara (cm)	20
Taxa Mínima de Descarga para Limpeza (m/d)	400
Espessura das Subcamadas e Material Granular	
- primeira câmara	
camada suporte	0,2 a 0,3 m ; 19,0 a 31,0 mm
camadas filtrantes	0,1 a 0,2 m ; 12,7 a 19,0 mm 0,4 a 0,6 m ; 6,4 a 12,7 mm
- segunda câmara	
camada suporte	0,2 a 0,3 m ; 19,0 a 31,0 mm 0,1 a 0,2 m ; 12,7 a 19,0 mm 0,1 a 0,2 m ; 6,4 a 12,7 mm
camada filtrante	0,4 a 0,6 m ; 3,2 a 6,4 mm
- terceira câmara	
camada suporte	0,2 a 0,3 m ; 19,0 a 31,0 mm 0,1 a 0,2 m ; 12,7 a 19,0 mm 0,1 a 0,2 m ; 6,4 a 12,7 mm 0,1 a 0,2 m ; 3,2 a 6,4 mm
camada filtrante	0,4 a 0,6 m ; 1,68 a 3,20 mm

Fonte: DI BERNARDO et al (1999)

Figura 33 - Esquema de corte de um pré-filtro ascendente

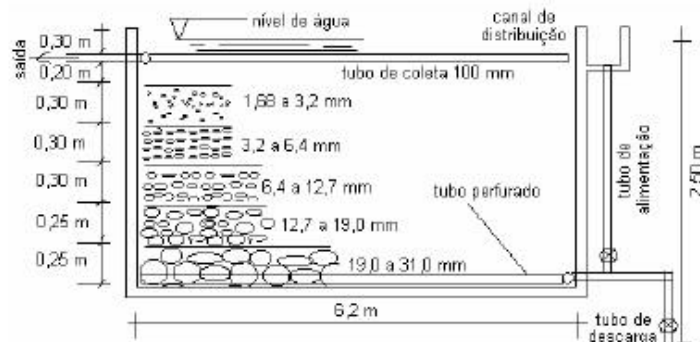


Figura 4.34 – Esquema do Pré-filtro de Escoamento Ascendente

Fonte: DI BERNARDO et al (1999)

c) Filtração

Última etapa do sistema de tratamento antes da desinfecção, a água pré-filtrada nas etapas anteriores é conduzida aos filtros lentos, que sofre o mesmo processo de filtração já descrito na seção anterior em sistema de tratamento por filtração lenta.

A eficiência da filtração lenta é afetada pela turbidez da água a ser tratada, pois esse parâmetro demonstra a quantidade de partículas pequenas presentes na água, em que muitos microrganismos se encontram aderidos. Por esse motivo vários pesquisadores limitam o valor de turbidez que a água deve apresentar ao chegar nos filtros lentos. E para que a água advinda dos filtros lentos apresente níveis de turbidez adequados ao processo de desinfecção que se segue, bem como a duração das carreiras de filtração, em torno de 1 mês, não sejam reduzidas (DI BERNARDO et al, 1999).

Segundo Di Bernardo et al (1999), a filtração lenta evoluiu bastante, com relação ao meio filtrante e à forma de funcionamento. Com a utilização de mantas sintéticas juntamente com areia fina possibilita taxas de filtração maiores, e o emprego de carvão ativado granular favorece a remoção de matéria orgânica dissolvida, o que geralmente não acontecia na filtração lenta com meio filtrante exclusivamente de areia.

Para Sakamoto (2013), uma das desvantagens da FiME quando comparada com outras ETAs, para uma mesma vazão, é a maior área em planta necessária devido as baixas taxas de filtração do processo. Portanto, em função do elevado investimento inicial envolvido, a tecnologia é recomendada para vazões de até 40 L/s.

3.4. TRATAMENTO DE ÁGUA POR FILTRAÇÃO DIRETA

Segundo Heller & Pádua (2013), o termo “filtração direta” engloba várias tecnologias de tratamento de água, as quais o único processo responsável pela remoção de sólidos presentes na água é a filtração rápida, e antes do processo de filtração a água bruta passa pelo processo de coagulação.

Essas tecnologias objetivam o tratamento de água bruta que tenha uma melhor qualidade. As unidades suportam água bruta com turbidez entre 50-60 UNT, sua aplicação é inviável para tratamento de água bruta que apresente índice de coliformes maiores que 1000 NMP/100 ml, e de algas superiores a 1000 UPA/ml. E também quando a dosagem de coagulante necessária for superior a 10 mg/L para sulfato de alumínio e 6 mg/L para cloreto

férrico, por causa dos precipitados produzidos por esses coagulantes, sendo mais indicado o policloreto de alumínio (RICHTER, 2009).

O mecanismo de coagulação ideal para esse sistema de tratamento segundo Di Bernardo (2003) é o por adsorção-neutralização de cargas, visto que outros processos como o de varredura pode comprometer as carreiras de filtração. Para a coagulação por mecanismo de adsorção-neutralização de cargas, o pH deve se situar entre 5,5 a 6,1. Esse valor de pH oferece uma faixa de baixa solubilidade do alumínio, em caso do emprego do sulfato de alumínio como coagulante, e é vantajoso porque os produtos da hidrólise do alumínio não incorporados pelos sólidos podem rapidamente ser transformados em hidróxidos e retidos no filtro, tendo-se assim um controle de alumínio residual.

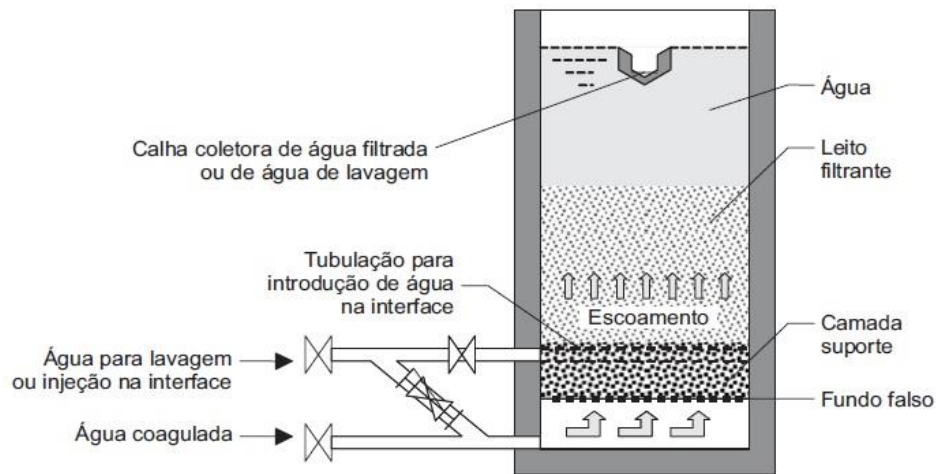
Dentro da filtração direta existe a Filtração Direta Ascendente, Filtração Direta Descendente, Filtração Direta Descendente com floculação, e Dupla Filtração.

3.4.1. Filtração Direta Ascendente (FDA)

Tecnologia baseada na filtração rápida em que a água bruta coagulada tem um fluxo ascendente dentro filtro.

Os filtros ascendentes (figura 34 e 35) são compostos por uma câmara onde se localiza o material filtrante (areia), em camada única, e uma superfície de suporte para o material filtrante, localizada sobre um fundo falso por onde a água coagulada entra no filtro. Após a água percorrer o material filtrante ela alcança a calha de recolhimento de água filtrada, essa mesma calha pode ser utilizada para recolher a água de lavagem do filtro após as descargas de fundo, com o risco de contaminação do reservatório de água filtrada pela água de lavagem após a recolocação do filtro em serviço. Para contornar esse inconveniente pode-se colocar uma calha exclusiva para a água de lavagem, como mostra a figura 35 (DI BERNARDO, 2003).

Figura 34 - Esquema de filtro ascendente com calha única para água filtrada e de lavagem

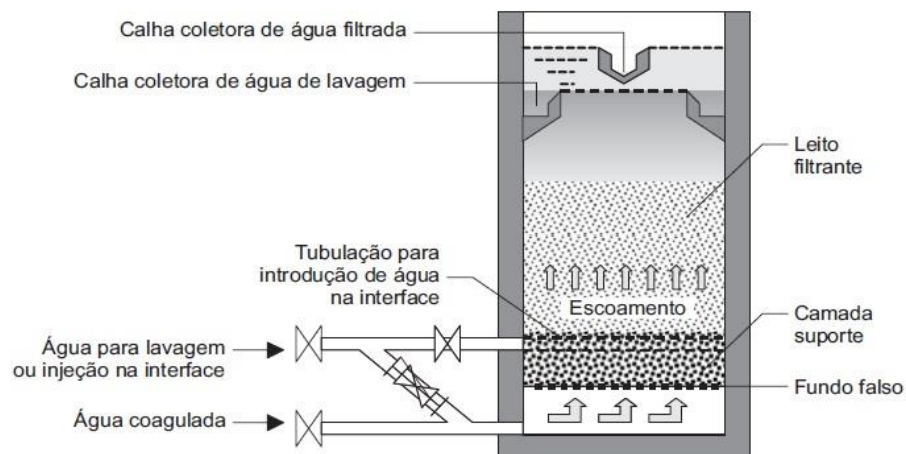


Fonte: Fonte: DI BERNARDO (2003).

Os sólidos de maiores diâmetros são retidos nas camadas inferiores do filtro, onde o material filtrante também apresenta maiores dimensões, e os sólidos menores são retidos nas camadas superiores. Di Bernardo (2003) afirma que esse sistema de tratamento deve ter camada de material filtrante espessa (1,6 a 2,0 m) para garantir 100% da remoção dos sólidos e garantir uma carreira de filtração superior a 24 horas.

Segundo experimentos de Di Bernardo (2003), realizando-se descargas de fundo intermediárias (DFI), na interface entre o material filtrante e a camada de suporte de filtros ascendentes, é possível obter uma sobrevida de 150% das carreiras de filtração, de forma que essas descargas realizam o desprendimento dos sólidos que aderiram à camada de suporte e nos centímetros iniciais da camada do material filtrante.

Figura 35 - Filtro ascendente com calhas de coleta de água filtrada e de lavagem separadas



Fonte: DI BERNARDO (2003)

É relatado por Di Bernardo (2003) que esse tipo de filtração direta é mais eficiente que a filtração direta descendente, devido ao fluxo percorrer o elemento filtrante dos grãos maiores aos menores, ocorrendo um aproveitamento de toda a camada do elemento.

Segundo Di Bernardo (2003), como vantagens a FDA apresenta um custo de implantação 50% menor que um sistema de tratamento convencional; menor custos de operação, manutenção, e produção de lodo. E como desvantagens, exige controle mais rigoroso da dosagem de produtos químicos; limitações relativas à qualidade da água bruta, a presença de algas e outros microrganismos restringem o uso dessa tecnologia; sensibilidade a mudanças na qualidade da água prejudica a duração da carreira de filtração; necessidade de cobertura do filtro para evitar contaminação da água filtrada, entre outras.

Com todas as melhorias conquistadas na tecnologia da filtração direta ascendente (FDA), a qualidade da água bruta ainda é limitante para a sua utilização quando se tem as seguintes situações: a) manancial com elevada concentração de algas, de cor verdadeira ou de turbidez, ou de coliformes; b) suspeita da presença de vírus, protozoários e outros microrganismos patogênicos; c) variações bruscas dos parâmetros de qualidade; e d) necessidade de dosagens elevadas de alcalinizante (ou acidificante) e de coagulante. Os autores afirmam que presentes essas situações, a dupla filtração pode ser considerada uma melhor alternativa visando à produção de água potável (DI BERNARDO, 2003).

3.4.2. Filtração Direta Descendente (FDD)

Nesse modelo a água bruta coagulada percorre um fluxo descendente no filtro rápido. A FDD (figura 36) pode ser de dois modelos: sem pré-floculação, consistindo apenas de unidade de mistura rápida e filtro descendente; com pré-floculação, consistindo de unidade de mistura rápida, floculação e filtro rápido. Quando o processo de floculação não está presente, é denominada filtração direta em linha, sendo a etapa de floculação indicada no estudo de Sakamoto (2013) quando há predominância de partículas dispersas na água bruta com tamanho menor que 5 μm , enquanto Heller & Pádua (2010) indicam tamanho na ordem de 1 μm , de forma que com esse tamanho de partículas a FDD apresenta desempenho insatisfatório, então a floculação atua aglutinando as partículas, aumentando o tamanho dos sólidos possibilitando que o filtro trabalhe com eficiência.

Di Bernardo (2003) afirma que diferentemente do que ocorre na filtração direta ascendente, a FDD geralmente possui dupla ou tripla camada de elemento filtrante.

Em relação ao tratamento do tipo convencional, a FDD apresenta as seguintes vantagens: custo da construção de 30% a 50% menor; redução dos custos de operação e manutenção, uma vez que se tem menor consumo de coagulante e de energia elétrica são eliminados os equipamentos de remoção de lodo dos decantadores e também, algumas vezes, os equipamentos de floculação; menor produção de lodo; facilidade no tratamento de água bruta com baixa turbidez (DI BERNARDO, 2003).

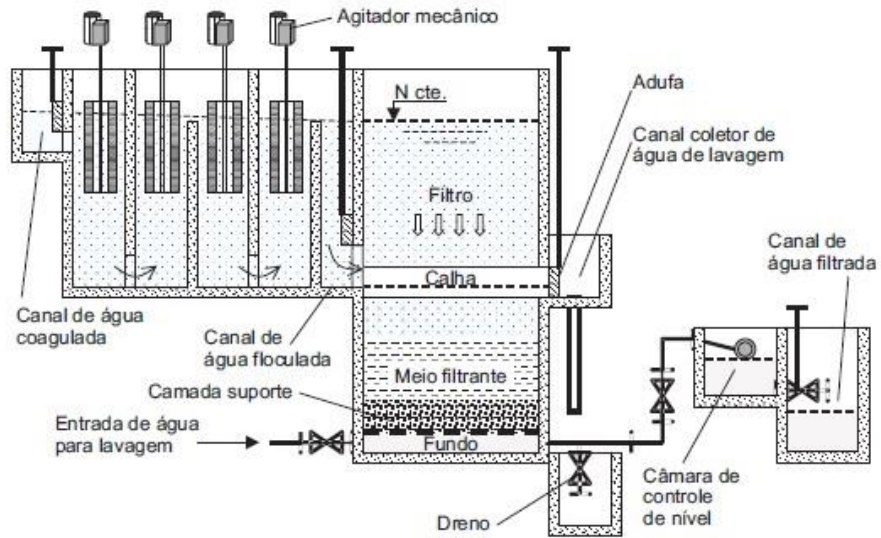
Dentre as desvantagens destacam-se: controle mais rigoroso na aplicação do coagulante, principalmente quando não se tem a pré-floculação; dificuldades no tratamento de água bruta com turbidez ou com cor verdadeira elevadas; sensibilidade a mudanças na qualidade da água bruta; o tempo de detenção curto, necessitando de ação rápida nas mudanças de dosagens de produtos químicos durante a mudança da qualidade da água bruta (DI BERNARDO, 2003).

Em um filtro rápido descendente os menores grãos do elemento filtrante ficam na parte superior, enquanto os grãos de maiores diâmetros ficam na inferior, e de acordo com Heller & Pádua (2010) essa disposição não é a ideal para um processo de filtragem e não pode ser mudada, pois quando se realizam as descargas de fundo para a limpeza do filtro tem-se uma expansão do meio filtrante que causa uma estratificação dos grãos. Para atenuar esse inconveniente se emprega o antracito no topo das camadas filtrantes, pois embora o antracito

tenha maior diâmetro que a areia, sua densidade é menor, de forma que sempre se mantenha no topo.

A camada de suporte geralmente é composta de seixos rolados com espessura entre 45 e 50 cm, que se apoia em um fundo falso por onde a água filtrada escoa e é coletada para a etapa posterior de desinfecção (DI BERNARDO, 2003).

Figura 36 - Filtração direta descendente com pré-floculação tipo mecânica



Fonte: DI BERNARDO (2003)

3.4.3. Dupla Filtração

O tratamento por dupla filtração (figura 37 e 38) é caracterizado pela utilização de unidades de filtração ascendente, segundo Pinto (2006), que pode ser de areia grossa ou pedregulho, atuando como unidade de pré-filtração, seguida de filtro rápido descendente, em sequência, garantindo maior capacidade de tratamento, podendo tratar água bruta com pior qualidade comparado com os demais métodos de filtração direta.

A forma com que os filtros podem ser dispostos em um sistema de tratamento com dupla filtração pode ser bem diversificado, passando por sequência de unidades de filtração ascendente e depois sequência de filtração descendente, ou por conjunto de unidades de filtração ascendente e descendente em sequência (DI BERNARDO, 2003).

Di Bernardo (2003) afirma algumas vantagens inerentes à dupla filtração, como a capacidade de tratar água com pior qualidade; utilização de taxas de filtração superiores em relação à FDA; maior segurança a variações bruscas da qualidade da água bruta; maior remoção global de microrganismos; o descarte do efluente do filtro ascendente após o processo de limpeza é desnecessário.

Segundo Braga (2005), se destacou no Brasil a utilização do processo de filtração ascendente em pedregulho como primeira etapa da dupla filtração, pelo fato desse tipo de filtro oferecer um maior volume de acumulação de impurezas, possibilitar a ocorrência de uma etapa de floculação na camada inferior do meio filtrante, e ser capaz de promover um processo de clarificação semelhante ao da etapa de sedimentação.

Di Bernardo (2003) afirma que a areia a ser utilizada no filtro ascendente, caso de filtro de areia grossa, deve ser de maior granulometria do que aquela utilizada em tratamento em que apenas um filtro ascendente é responsável pela remoção de impurezas, pelo fato que o filtro descendente também deve participar da remoção de impurezas na dupla filtração, dessa forma, o referido autor estabelece como características da areia: tamanho dos grãos = 1,41 a 3,2 mm; tamanho efetivo = 1,68 a 2,0 mm; espessura da camada = 1,2 a 1,6 m. E para o filtro ascendente de pedregulho, utilizar entre 4 e 5 subcamadas com as características granulométricas presentes na tabela 6 da página seguinte.

Tabela 6 - Composição das camadas filtrantes em filtros ascendentes de pedregulho

Subcamada	Espessura (cm)	Tamanho do pedregulho (mm)
Fundo	30 a 40 (*)	25,4 a 38,0
Primeira	15 a 30	12,7 a 19,0
Segunda	15 a 30	6,4 a 12,7
Terceira	15 a 30	3,2 a 6,4
Superior	20 a 40	2,0 a 3,2 (**)

*) Depende do tipo de fundo; (**) depende do sistema de lavagem.

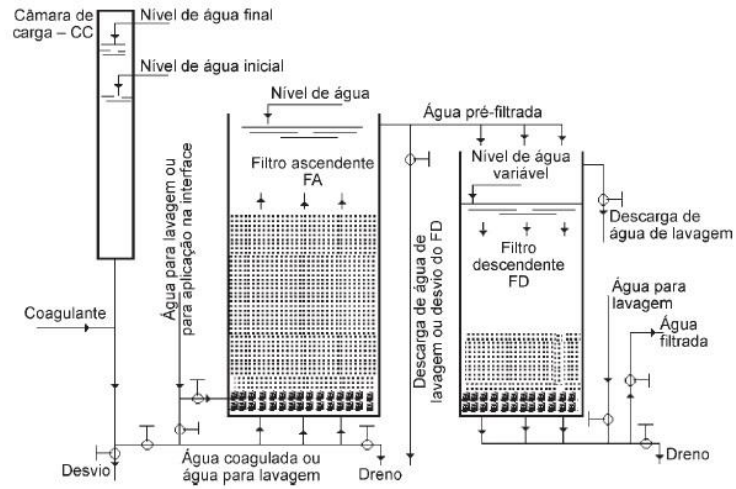
Fonte: DI BERNARDO (2003)

Para o filtro descendente, as características granulométricas do meio filtrante indicadas são: tamanho dos grãos: 0,30 a 1,41 mm; tamanho efetivo = 0,40 a 0,45 mm; espessura da camada = 0,6 a 0,8 m. Com a taxa de filtração até 300 m³/m².dia, em caso de utilização de dupla camada de antracito e areia, a taxa de filtração pode ser até 400 m³/m².dia (DI BERNARDO, 2003).

A água bruta vinda da captação entra na câmara de carga, um tanque em que é possível monitorar a perda de carga nos filtros, a depender da altura da coluna de água, sinalizando a colmatação dos interstícios granulares, de acordo com a perda de carga máxima estipulada no projeto dos filtros é sinalizado o momento de retirada dos filtros de operação. O coagulante pode ser adicionado à água na câmara de carga ou em local específico para a mistura rápida (DI BERNARDO, 2003).

Saindo da câmara de carga, a água coagulada chega ao filtro ascendente pelo fundo, atravessa o filtro na primeira etapa de filtração e é coletada pelas calhas na parte superior, 60 a 100 centímetros acima da camada de areia grossa ou pedregulho, em seguida é direcionada ao filtro descendente, onde entra pela parte superior e escoar até o fundo, local onde é coletada e segue para a etapa posterior de desinfecção (DI BERNARDO, 2003).

Figura 37 - Esquema de uma instalação de dupla filtração



Fonte: DI BERNARDO (2003)

Figura 38 - Representação de dupla filtração



Fonte: ABICHABKI (2012)

As figuras 39 e 40 mostram duas formulações que a dupla filtração contempla, sendo filtro ascendente e descendente conjugados (figura 39), e em unidades separadas (figura 40).

Figura 39 - Filtro Ascendente e Descendente



Fonte: ABICHABKI (2012)

Figura 40 - Filtro Ascendente e Descendente em unidades separadas



Fonte: ABICHABKI (2012)

4 METODOLOGIA

No primeiro momento do desenvolvimento do trabalho, foi discutido o tema e sua delimitação, de forma a manter a organização e o foco da pesquisa. Com o campo de estudo já delimitado, foi possível realizar de fato a revisão da literatura a respeito dos tipos de tratamentos de água. Em seguida iniciou-se a pesquisa e consulta dos textos técnicos de forma a recolher as informações pertinentes ao tema para realizar o embasamento do trabalho.

Foram pesquisados artigos científicos, dissertações, e livros afins, sendo que houve autores que tiveram maior destaque na contribuição desse trabalho, como Carlos A. Richter e Luiz Di Bernardo, onde seus estudos foram amplamente utilizados nesse trabalho, fornecendo definições e considerações importantes.

As bases de dados utilizadas para as buscas foram: Scientific Electronic Library Online – SciELO, Google Acadêmico, Portal de periódicos da CAPES, além de repositórios online de instituições como a Universidade de São Paulo (USP), Universidade de Brasília (UnB), e também livros impressos e digitais, como o livro do autor Carlos A. Richter, Léo Heller & Valter Lúcio de Pádua.

Após o embasamento das tecnologias de interesse do estudo, realizou-se levantamento de dados do IBGE para recolher informações sobre a distribuição nacional das diferentes de tecnologias usadas nas estações de tratamento de água, que estão disponíveis nos levantamentos oriundos da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico.

Com os dados obtidos da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico do IBGE, filtrou-se as informações pertinentes ao tema nos anos 2000, 2008 e 2017, anos de recenseamento nacional. Após a seleção dos dados, foram produzidos gráficos e tabelas como forma de que fosse possível alcançar os objetivos do trabalho.

As palavras-chaves utilizadas para obtenção das publicações nos respectivos campos de busca, foram: ETA, tratamento de água, tecnologias de tratamento.

Esse estudo manteve o foco nas seguintes tecnologias empregadas no tratamento de água: Convencional ou ciclo completo; Filtração lenta; FiME – Filtração em múltiplas etapas; Filtração direta Ascendente; Filtração direta Descendente (Filtração em linha) e Dupla filtração.

5 RESULTADOS E ANÁLISES

Utilizou-se a base de dados da Pesquisa nacional de saneamento básico, dos anos censos 2000, 2008 e 2017, realizado pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística).

Como a metodologia de pesquisa utilizada no trabalho é revisão bibliográfica, foi identificado um único trabalho com a temática abordada, ou seja, a distribuição das tecnologias em alguns estados do Brasil (Gráfico 1).

O Programa de Pesquisas em Saneamento Básico – PROSAB – Edital 03, coordenada pelo Prof. Luiz Di Bernardo da Escola de Engenharia de São Carlos da USP, em sua publicação sobre o tema “Filtração direta aplicada a pequenas comunidades”, intitulada “Tratamento de água por filtração direta”, realizou um levantamento dos tipos de tratamentos adotados pelas Companhias estaduais de saneamento básico de vários estados (Gráfico 1), por meio de questionários enviados às companhias. Nesses questionários foram abordados o número de ETAs de acordo com o tipo de tratamento, ano de implantação da primeira ETA de filtração direta e material de construção dessas unidades.

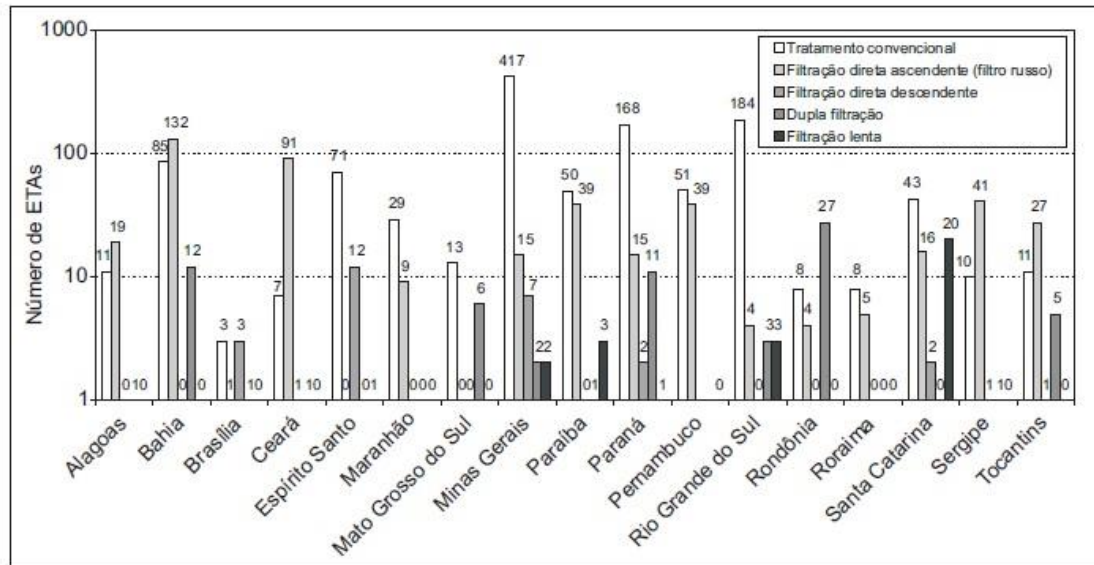
Os autores correlacionam os volumes produzidos pelo método convencional e não convencional, afirmando sobre a difusão que os tratamentos não convencionais vêm ganhando, e em algumas regiões como a nordeste, que já apresenta um volume considerável.

Então, foi realizada a obtenção indireta dos dados necessários para o estudo através da pesquisa nacional de saneamento básico, porém os dados estão incompletos no âmbito desse trabalho, pelo fato que a PNSB não discriminar cada tipo de tecnologia, mas sim os grupos convencional e não convencional, bem como a simples desinfecção da água.

Logo, foi analisado quantificação de cada tipo de tratamento nas regiões do país, volume de água tratado por cada grupo, e foi analisado o crescimento do tratamento não convencional, de forma que fica demonstrado ao longo do trabalho como sendo promissor do ponto de vista econômico.

De acordo com dados do IBGE, obtidos da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico dos anos 2000, 2008, e 2017, os tipos de tratamentos analisados são, convencional, não convencional e simples desinfecção.

Gráfico 1 - Distribuição de ETAs operadas pelas CESB, por tipo de tecnologia.



Fonte: DI BERNARDO (2003)

Nas tabelas 7 e 8 a seguir estão informações sobre o volume de água tratada distribuída por dia no Brasil, por tipo de tratamento e por regiões, de acordo com a pesquisa nacional de saneamento básico do ano 2000 e 2017, respectivamente, podendo ser observada o maior volume produzido por tratamento convencional.

Tabela 7 - Volume de água tratada distribuída por dia, por regiões, ano 2000

Grandes Regiões	Volume de água distribuída por dia (m ³)			
	Total	Tipo de tratamento		
		Convencional	Não Convencional	Simples desinfecção
Brasil	40787121	30651850	2280231	7855040
Norte	1650525	742226	614103	294196
Nordeste	7386055	5445434	564469	1376152
Sudeste	24699147	18890737	547440	5260970
Sul	4800049	4258975	80991	460083
Centro-Oeste	2251345	1314478	473228	463639

Fonte: IBGE - PNSB (2002). (Adaptado)

Tabela 8 - Volume de água tratada distribuída por dia, por regiões, ano 2017

Volume de água distribuída por dia, com tratamento de água, por tipo de tratamento, segundo as Grandes Regiões, 2017				
Grandes Regiões	Volume de água distribuída por dia (m ³)			
	Total	Tipo de tratamento		
		Convencional	Não Convencional	Simples desinfecção
Brasil	44943300	34163957	1985174	8794169
Norte	2729931	1596084	255972	877875
Nordeste	8305228	5059589	766851	2478788
Sudeste	23487173	19787242	518935	3180996
Sul	7003166	5414611	388445	1200110
Centro-Oeste	3417802	2306431	54971	1056400

Fonte: IBGE – PNSB (2020). (Adaptado)

Nas tabelas 9 e 10 a seguir estão informações sobre o número de municípios com presença de tratamento de água, por tipo de tratamento e por regiões, de acordo com a pesquisa nacional de saneamento básico do ano 2008 e 2017, respectivamente, podendo ser observada a predominância do tratamento convencional e simples desinfecção em relação ao tratamento não convencional, em todas as regiões do país.

Tabela 9 - Número de municípios com tratamento de água, por tipo de tratamento, ano 2008

Municípios com serviço de abastecimento de água por rede geral de distribuição, por tipo de tratamento na água distribuída, segundo as Grandes Regiões - 2008				
Grandes Regiões, Unidades da Federação.	Com a existência de tratamento			
	Total	Tipo de tratamento		
		Convencional	Não Convencional	Simples desinfecção
Brasil	5166	2817	560	3005
Norte	350	104	43	227
Nordeste	1632	851	338	806
Sudeste	1598	1087	55	918
Sul	1147	545	75	799
Centro-Oeste	439	230	49	255

Fonte: IBGE - PNSB (2010). (Adaptado)

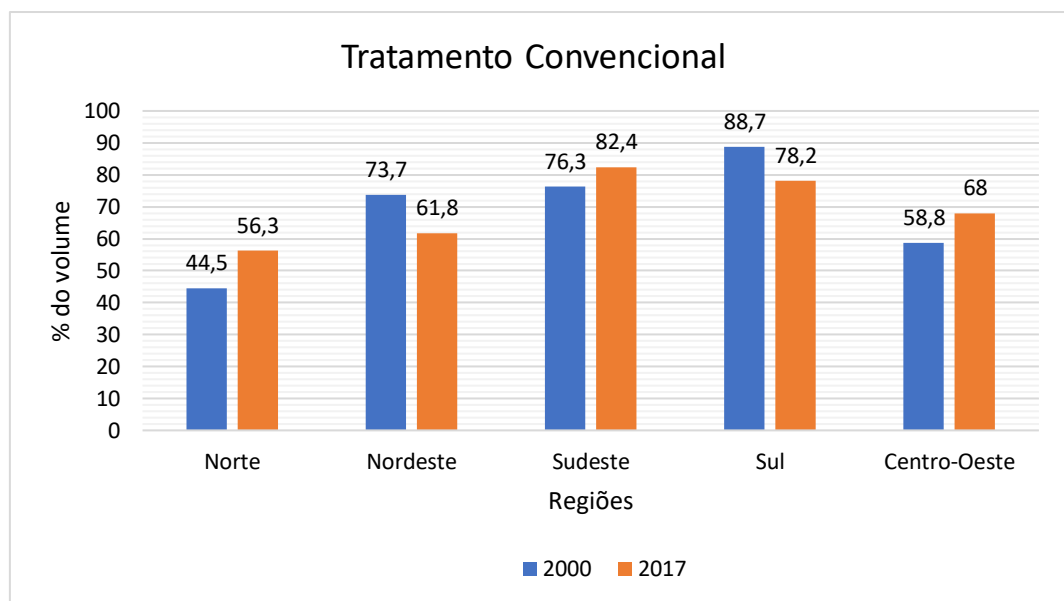
Tabela 10 - Número de municípios com tratamento de água, por tipo de tratamento, ano 2017

Grandes Regiões, Unidades da Federação.	Com a existência de tratamento			
	Total	Tipo de tratamento		
		Convencional	Não-Convencional	Simples desinfecção
Brasil	5235	2768	715	3124
Norte	347	123	46	231
Nordeste	1613	755	434	831
Sudeste	1636	1117	93	922
Sul	1184	530	103	877
Centro-Oeste	455	243	39	263

Fonte: IBGE - PNSB (2020). (Adaptado)

Os gráficos 2, 3, e 4 a seguir demonstram uma comparação entre o percentual de água tratada produzida por tratamento convencional, não convencional, e simples desinfecção, respectivamente, entre os anos 2000 e 2017, por regiões, de acordo com a pesquisa nacional de saneamento básico, onde pode-se observar no gráfico 2 o crescimento do volume por tratamento convencional nas regiões Norte, Sudeste e Centro-Oeste, e redução nas demais regiões.

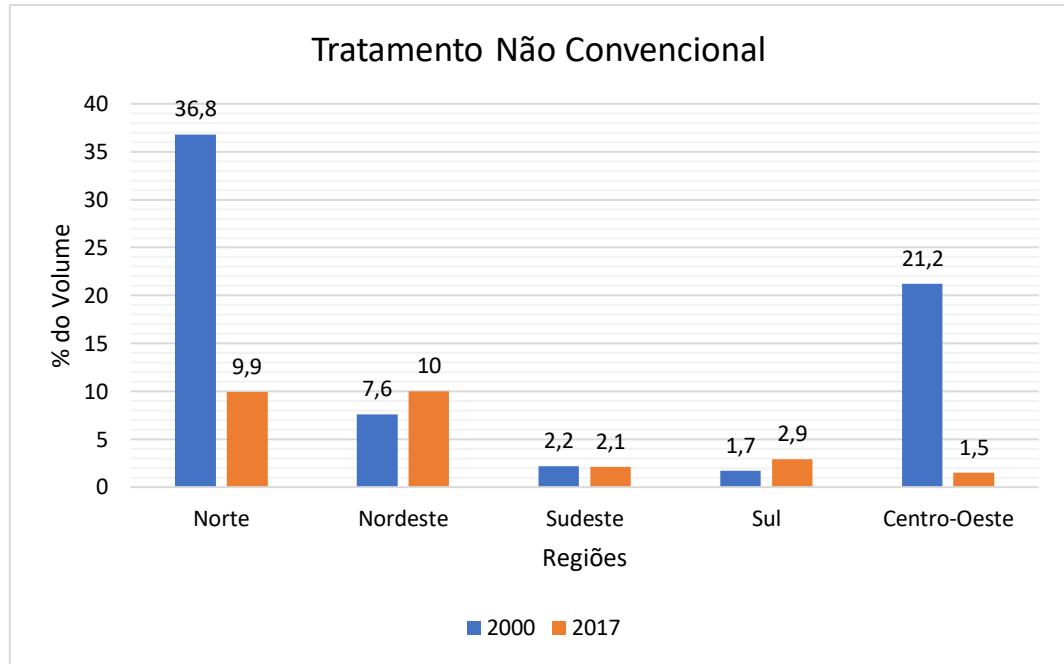
Gráfico 2 - Percentagem do volume total de água tratada, por tratamento convencional por região, ano 2000 e 2017



Fonte: Autoria própria (2020)

No gráfico 3 pode-se observar o crescimento do volume por tratamento não convencional nas regiões Nordeste e Sul, e redução nas demais regiões, sendo bem acentuadas as reduções nas regiões Norte e Centro-Oeste.

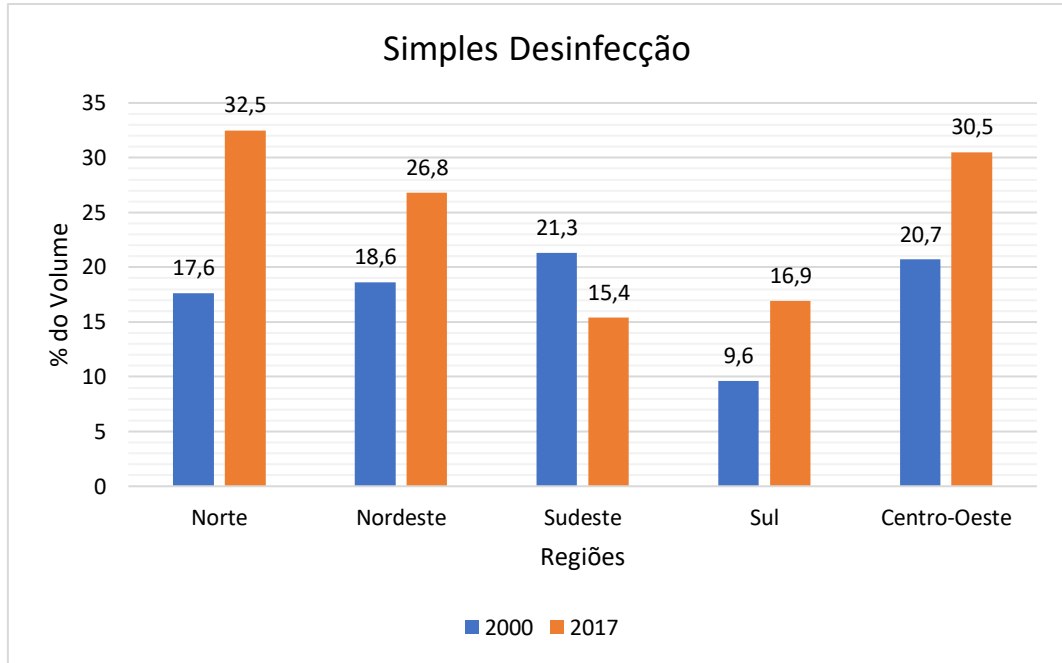
Gráfico 3 - Percentagem do volume total de água tratada, por tratamento não convencional, por região, ano 2000 e 2017



Fonte: Autoria própria (2020)

No gráfico 4 abaixo, pode-se observar o crescimento do volume por simples desinfecção em todas as regiões, exceto a região Sudeste.

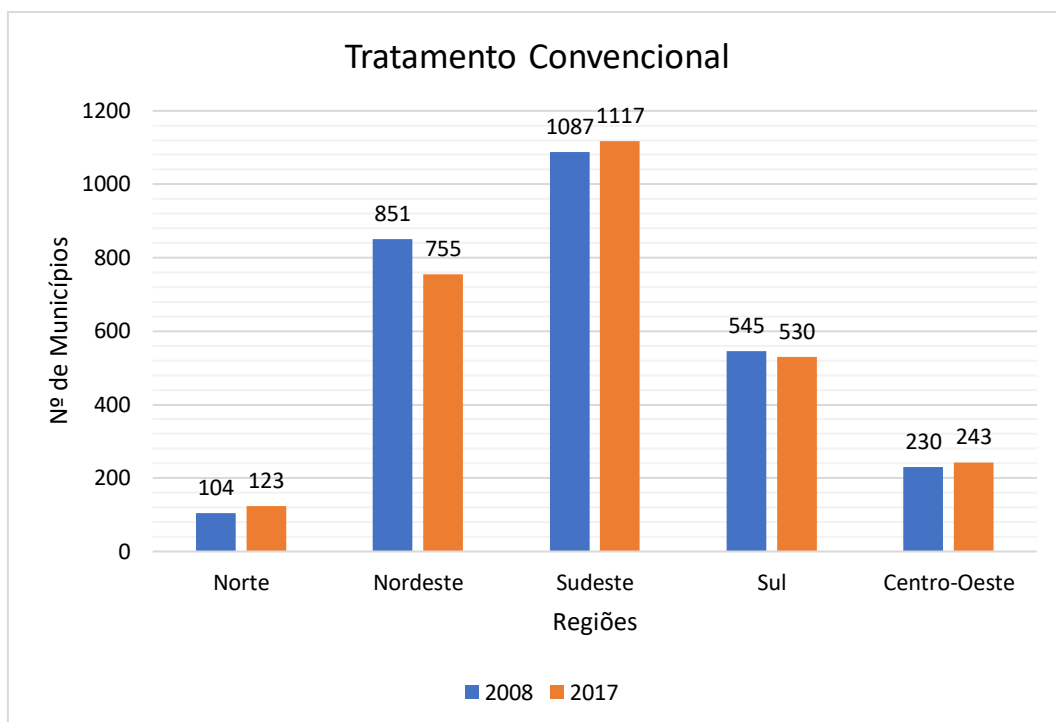
Gráfico 4 - Percentagem do volume total de água tratada, por simples desinfecção, por região, ano 2000 e 2017



Fonte: Autoria própria (2020)

Os gráficos 5, 6 e 7 demonstram uma comparação entre o número de municípios, por regiões, com presença do tratamento convencional, não convencional, e simples desinfecção, respectivamente, entre os anos 2008 e 2017, de acordo com a pesquisa nacional de saneamento básico, onde pode-se observar no gráfico 5 o crescimento do número de municípios com tratamento convencional nas regiões Norte, Sudeste e Centro-Oeste, e redução nas demais regiões.

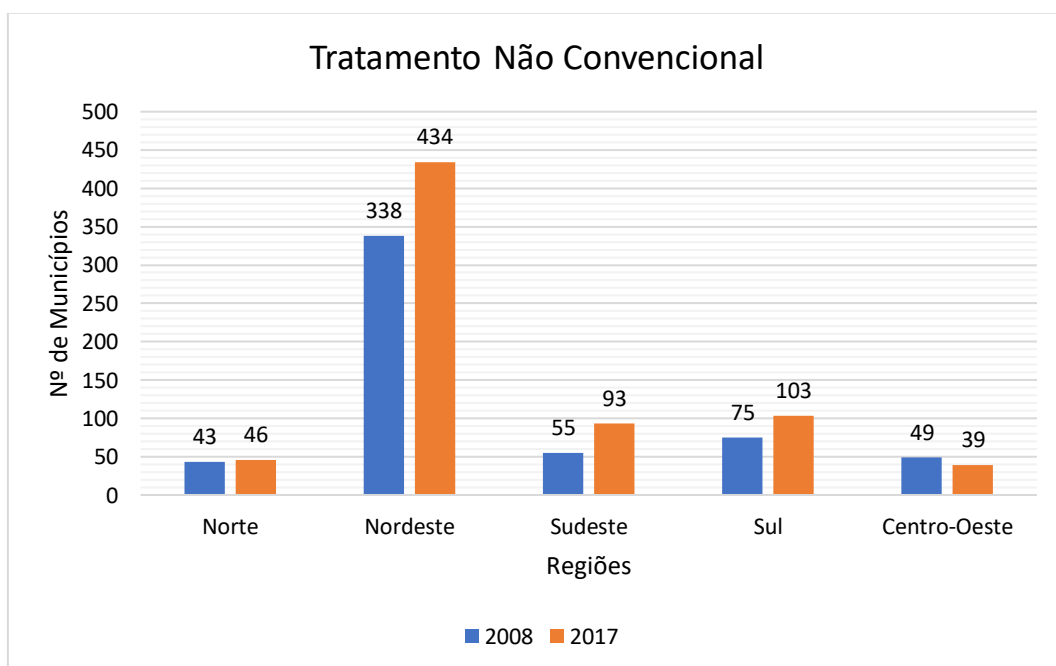
Gráfico 5 - Número de municípios com tratamento convencional, por região, ano 2008 e 2017



Fonte: Autoria própria (2020)

No gráfico 6 abaixo pode-se observar o crescimento do número de municípios com tratamento não convencional em todas as regiões do país, exceto a região Centro-Oeste.

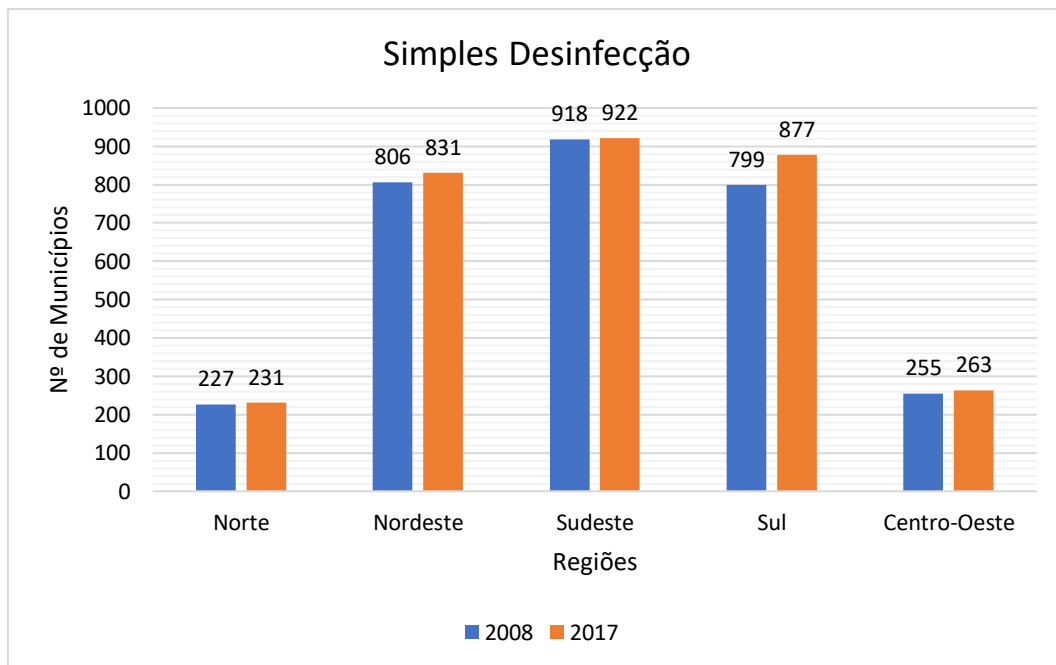
Gráfico 6 - Número de municípios com tratamento não convencional, por região, ano 2008 e 2017



Fonte: Autoria própria (2020)

No gráfico 7 abaixo, pode-se observar o crescimento do número de municípios com simples desinfecção, entre os anos 2008 e 2017, em todas as regiões do país.

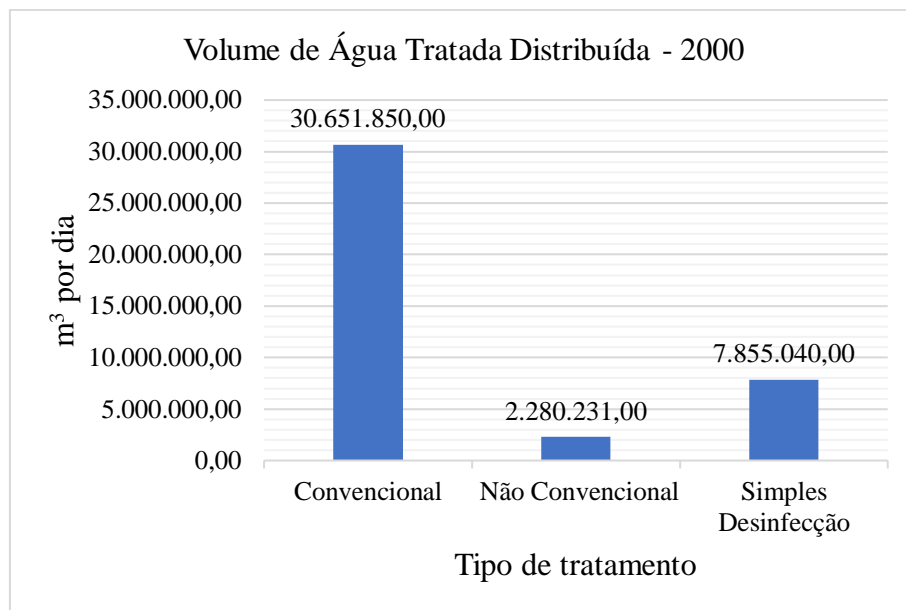
Gráfico 7 - Número de municípios com simples desinfecção de água, por região, ano 2008 e 2017



Fonte: Autoria própria (2020)

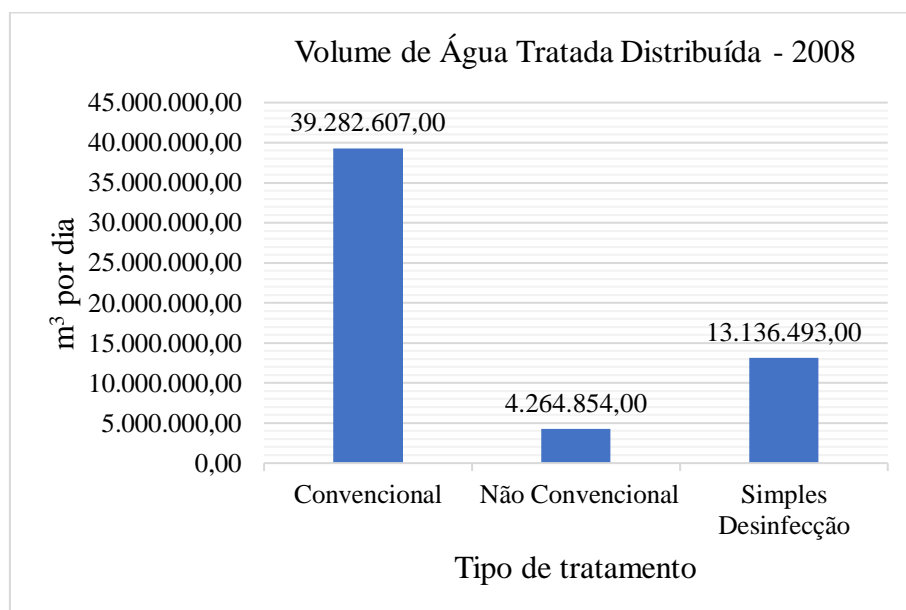
Os gráficos 8, 9 e 10 demonstram uma comparação do volume de água tratada distribuída por dia no Brasil, entre o tratamento convencional, não convencional, e simples desinfecção, nos anos 2000 (gráfico 8), 2008 (gráfico 9), e 2017 (gráfico 10), de acordo com a pesquisa nacional de saneamento básico. Pode-se notar ao comparar os anos de 2000 e 2017, o crescimento do volume por tratamento convencional e simples desinfecção e redução do volume por tratamento não convencional.

Gráfico 8 - Volume de água tratada distribuída por dia, por tipo de tratamento em 2000.



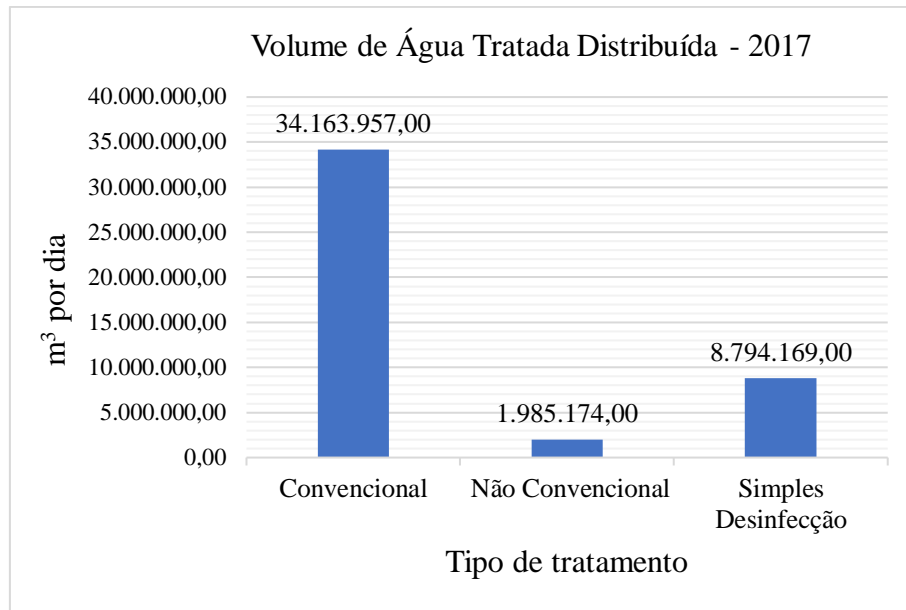
Fonte: Autoria própria (2020)

Gráfico 9 - Volume de água tratada distribuída por dia, por tipo de tratamento em 2008.



Fonte: Autoria própria (2020)

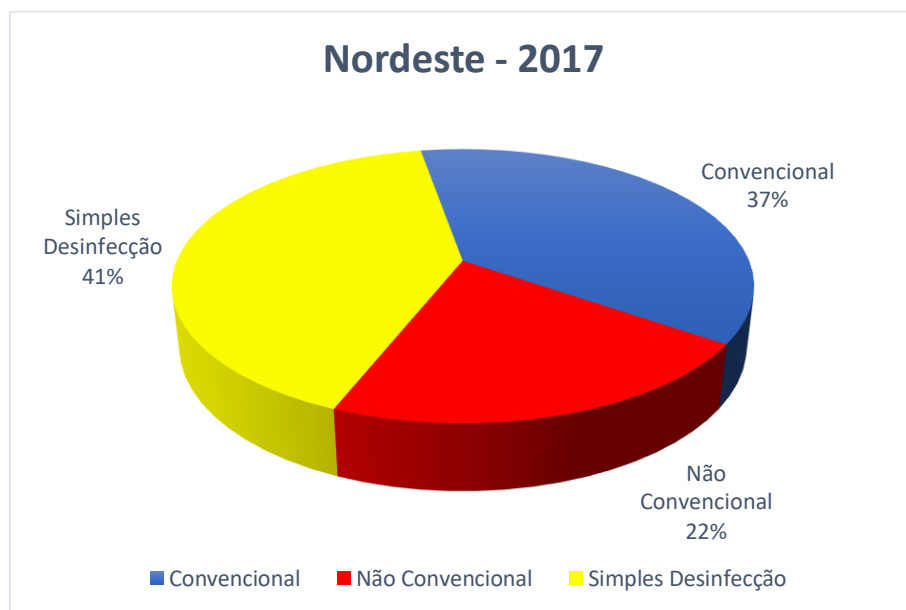
Gráfico 10 - Volume de água tratada distribuída por dia, por tipo de tratamento em 2017.



Fonte: Autoria própria (2020)

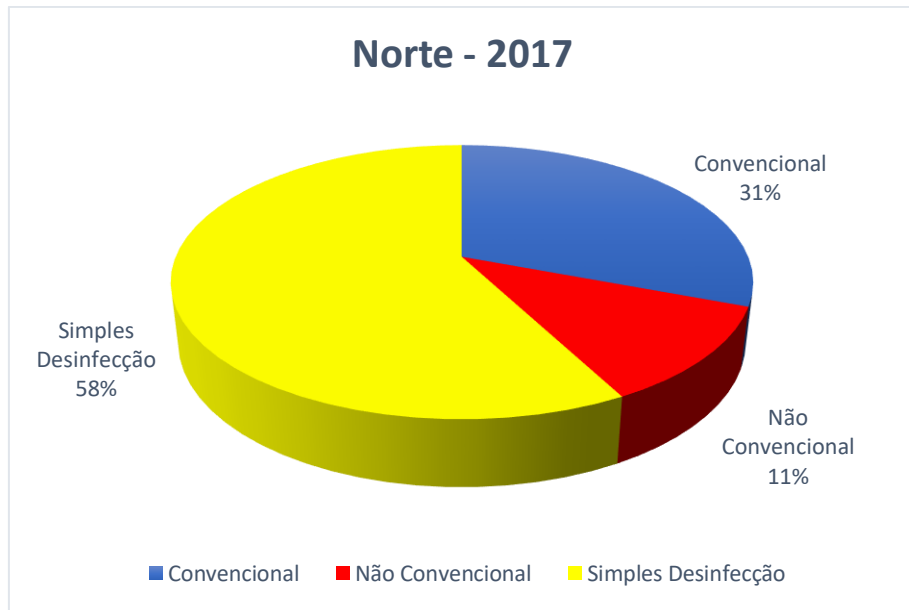
Os gráficos 11, 12, 13, 14 e 15 demonstram a distribuição do tratamento convencional, não convencional e simples desinfecção por regiões do país, considerando os municípios que possuem tratamento de água, de acordo com a pesquisa nacional de saneamento básico do ano 2017. Pode-se notar a presença predominante da simples desinfecção em todas as regiões do país, embora o volume produzido por tratamento convencional seja maior, de acordo com os gráficos 8, 9 e 10.

Gráfico 11 - Distribuição dos tipos de tratamento na região Nordeste, ano 2017



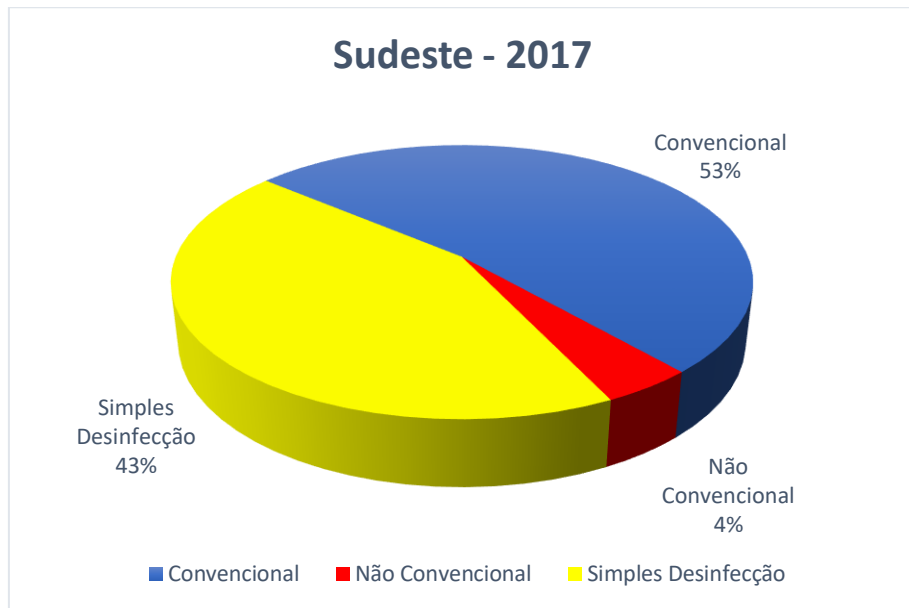
Fonte: Autoria própria (2020)

Gráfico 12 - Distribuição dos tipos de tratamento na região Norte, ano 2017



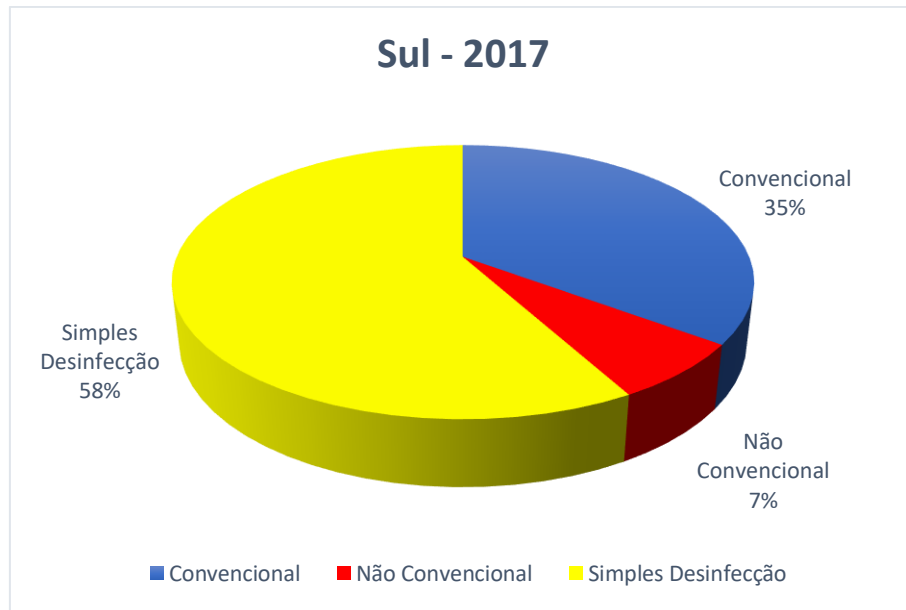
Fonte: Autoria própria (2020)

Gráfico 13 - Distribuição dos tipos de tratamento na região Sudeste, ano 2017



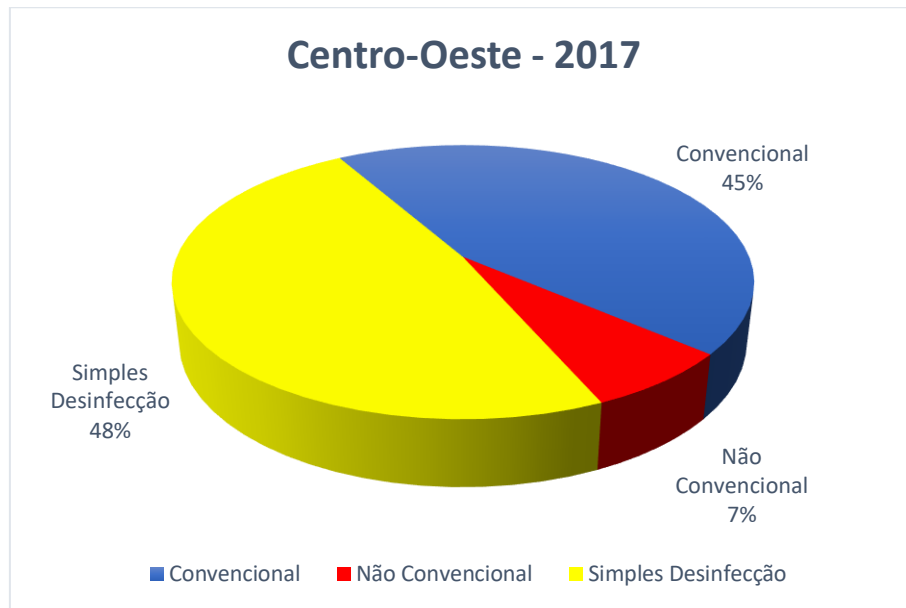
Fonte: Autoria própria (2020)

Gráfico 14 - Distribuição dos tipos de tratamento na região Sul, ano 2017



Fonte: Autoria própria (2020)

Gráfico 15 - Distribuição dos tipos de tratamento na região Centro-Oeste, ano 2017



Fonte: Autoria própria (2020)

6 CONCLUSÃO

Após análises dos gráficos, pôde-se concluir que as tecnologias não convencionais permanecem subutilizadas, apesar de vários estudos comprovarem sua eficiência, ainda são insuficientes para desmistificar sua utilização. Para tanto, os órgãos competentes devem dispor atenção ao tratamento não convencional, com o objetivo de tratar a água de forma adequada e com economia dos custos inerente à atividade. Isso pode ser conseguido produzindo estímulos ao seu uso, principalmente em pequenas comunidades. Como há atualmente estímulos por parte dos governos estaduais à perfuração de poços, devido a frequentes períodos de estiagem ocorridos em diversas regiões do Brasil.

Pôde-se observar também um crescimento do volume de água com o método de simples desinfecção, provavelmente por conta dos investimentos aplicados para perfuração de poços para obtenção de água para abastecimento.

Então conclui-se que o método convencional ainda permanecerá por muito tempo com o maior volume de água produzido no Brasil, apesar de seu custo mais elevado que os demais métodos.

REFERÊNCIAS

- ACHON, Cali L. **Ecoeficiência de sistemas de tratamento de água à luz dos conceitos da ISO 14.001**. São Carlos: EESC-USP, 2008. 221p. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-08012009-172718/pt-br.php>. Acesso em 12 out. 2020
- ABICHABKI, Fabiana B. **Eficiência e produção de resíduos de tecnologia de dupla filtração em função do tipo de filtro ascendente utilizado**. São Carlos: EESC-USP, 2012. 135p. Disponível em: <http://www.tcc.sc.usp.br/tce/disponiveis/18/180300/tce-20032013-095706/?&lang=br>. Acesso em: 3 nov. 2020.
- AQUASOLUTION. **Tudo que você precisa saber sobre câmara de mistura no tratamento de água**. Disponível em: <https://acquablog.aquasolution.com/tudo-que-voce-precisa-saber-sobre-camara-de-mistura-no-tratamento-de-agua/>. Acesso em: 31 out. 2020.
- BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. **Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS**. Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde. – Brasília: Funasa, 2014. 112p. Disponível em: <http://www.funasa.gov.br/documents/20182/38937/Manual+de+controle+da+qualidade+da+água+para+técnicos+que+trabalham+em+ETAS+2014.pdf/85bbdcbc-8cd2-4157-940b-90b5c5bcfc87>. Acesso em: 17 out. 2020.
- BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. SECRETARIA DE VIGILÂNCIA EM SAÚDE. **Boas práticas no abastecimento de água: procedimentos para a minimização de riscos à saúde**. Brasília: Ministério da Saúde, 2006. 252 p. Disponível em: http://bvsmis.saude.gov.br/bvs/publicacoes/boas_praticas_agua.pdf. Acesso em: 1 nov. 2020.
- BRAGA, F. M. G. **Dupla Filtração em Filtros Ascendentes de Pedregulho e Filtros Descendentes de Areia Aplicada à Remoção de Algas: Influência da Taxa de Filtração e Granulometria do Filtro de Areia**. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Brasília: Universidade de Brasília – UNB, 2005. 174p. Disponível em: <http://ptarh.unb.br/wp-content/uploads/2017/03/FuadMoura.pdf>. Acesso em: 12 out. 2020.
- CONSULTEC PA. **Flotação - Tratamento de água**. Disponível em: <https://www.consultecpa.com.br/flotacao-tratamento-agua>. Acesso em: 15 out. 2020.
- DI BERNARDO, L; BRANDÃO, C.C.S; HELLER, L. **Tratamento de água de abastecimento por filtração em múltiplas etapas**. PROSAB. Rio de Janeiro: ABES, 1999. 114p. Disponível em: http://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/aguas_de_abastecimento.pdf. Acesso em: 12 out. 2020.
- DI BERNARDO, L. **Tratamento de água para abastecimento por filtração direta**. PROSAB. Rio de Janeiro: ABES, 2003. 498p. Disponível em: http://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/aguas_de_abastecimento.pdf. Acesso em: 12 out. 2020.

ECOSAN – WASTE WATER SOLUTION. **Catálogo de produtos.** Disponível em: <https://ecosan.com/solucoes/tecnologia-para-tratamento-de-agua/>. Acesso em: 1 nov. 2020.

ENGENHARIA 360. **O que é coagulação e por que é tão importante para o tratamento de água?** Disponível em: <https://engenharia360.com/o-papel-da-coagulacao-no-tratamento-de-agua/>. Acesso em: 31 out. 2020.

FARIAS, Nara J. V. **Desempenho de filtros lentos, com diferentes períodos de amadurecimento, precedidos de pré-filtração em pedregulho no tratamento de águas contendo células tóxicas de *Microcystis aeruginosa*.** Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Brasília: Universidade de Brasília – UNB, 2011. 123p. Disponível em: http://ptarh.unb.br/wp-content/uploads/2017/03/Nara_Julliana_Vieira_de_Farias.pdf. Acesso em: 15 out. 2020.

GUIA ECOLÓGICO. **Tratamento de água em fotos. Como funciona uma ETA?** Disponível em: <https://guiaecologico.wordpress.com/2016/09/30/tratamento-de-agua-em-fotos-como-funciona-uma-eta/>. Acesso em: 31 out. 2020.

HELLER, Léo; PÁDUA, Valter L. de. **Abastecimento de água para consumo humano.** 2 ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2010. 2 v. 457 p. Disponível em: https://www.academia.edu/40298749/Abastecimento_de_agua_para_consumo_humano_volum. Acesso em: 02 dez. 2020.

IBGE. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2000.** Rio de Janeiro, 2002. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/multidominio/meio-ambiente/9073-pesquisa-nacional-de-saneamento-basico.html?=&t=o-que-e>. Acesso em 23 nov. 2020

IBGE. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008.** Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/multidominio/meio-ambiente/9073-pesquisa-nacional-de-saneamento-basico.html?edicao=18098&t=o-que-e>Acesso em 23 nov. 2020

IBGE. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2017.** Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/multidominio/meio-ambiente/9073-pesquisa-nacional-de-saneamento-basico.html?edicao=18098&t=o-que-e>Acesso em 23 nov. 2020

MELO, Ana E. S. de. **AVALIAÇÃO DA FILTRAÇÃO LENTA NA REMOÇÃO DE CÉLULAS DE *Cylindrospermopsis raciborskii* E SAXITOXINAS.** 2006. 178 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) – Universidade de Brasília - UNB, Brasília, 2006. Disponível em: https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/6464/1/2006_Ana%20Elisa%20Silva%20de%20Melo.pdf. Acesso em: 02 out. 2020.

NAQUA SOLUÇÕES EM ÁGUAS. **Apresentação de equipamentos.** Disponível em: <http://naqua.com.br>. Acesso em: 15 out. 2020.

PANORAMA PRÉ-FILTROS. **Areias e seixos para tratamento de água.** Disponível em: <http://panoramaprefiltros.com.br/br/areias-e-seixos-para-tratamento-de-agua-2/>. Acesso em: 15 out. 2020.

PELISSARI, Letícia M. T. **Influência de parâmetros de projeto no desempenho do Floculador Tubular Helicoidal aplicado ao tratamento de água de Abastecimento**. Vitória: Universidade Federal do Espírito Santo – UFES, 2006. 119 p. Disponível em: <http://www.dominiopublico.gov.br/download/texto/cp011921.pdf>. Acesso em: 31 out. 2020.

PINTO, Adriana P. **Utilização da filtração direta ascendente em pedregulho como alternativa de pré-filtração em sistemas de dupla filtração**. Dissertação de Mestrado. CTG – Engenharia Civil. Recife: Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, 2006. 139 p. Disponível em: https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/5570/1/arquivo6180_1.pdf. Acesso em: 20 nov. 2020.

RICHTER, Carlos A. **Água: Métodos e tecnologias de tratamento**. São Paulo: Editora Blucher, 2009. 340 p.

ROSCHILD, Caroline V. P. **Tratamento de água - Nota de aula – Sistemas urbanos de água**. Pelotas: Universidade Federal de Pelotas – UFPEL, 2016. 118 p. Disponível em: <https://wp.ufpel.edu.br/hugoguedes/files/2018/11/Aula-7-Tratamento-de-água-Caroline-Voser.pdf>. Acesso em 12 out. 2020.

RUBIM, Cristiane. **Ação dos floculadores**. Revista TAE, Santo André. 11 ed. Fev / Mar, 2013. Disponível em: <https://www.revistatae.com.br/Artigo/370/acao-dos-floculadores>. Acesso em: 1 nov. 2020.

SAKAMOTO, Jaqueline A. **Seleção de Tecnologias de Tratamento de Água para Pequenas e Médias Comunidades Brasileiras Considerando Aspectos Ambientais**. São Carlos: USP, 2013. 157 p. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-27082014-103325/pt-br.php>. Acesso em: 17 out. 2020.

VERAS, Luciana R. V; Di BERNARDO, Luiz. **Tratamento de água de abastecimento por meio da Tecnologia de filtração em múltiplas etapas–FiME**. Eng. Sanitária e Ambiental. Rio de Janeiro, v 13, n. 1, p. 109-116, 2008. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522008000100014&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 17 out. 2020.