



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL



JOÃO PEDRO PEREIRA CARNEIRO

**Avaliação do desempenho hidráulico da ETA adquirida pelo DMAE
de Nova Ponte - MG**

Uberlândia - MG

2025

JOÃO PEDRO PEREIRA CARNEIRO

**Avaliação do desempenho hidráulico da ETA adquirida pelo DMAE
de Nova Ponte - MG**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado à Faculdade de Engenharia
Civil da Universidade Federal de
Uberlândia, como parte dos requisitos para
a obtenção do título de bacharel em
Engenharia Civil.

Orientador: Prof. MSc. Iridalques
Fernandes de Paula.

Uberlândia - MG

2025

JOÃO PEDRO PEREIRA CARNEIRO

**Avaliação do desempenho hidráulico da ETA adquirida pelo DMAE
de Nova Ponte - MG**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado à Faculdade de Engenharia
Civil da Universidade Federal de
Uberlândia, como parte dos requisitos para
a obtenção do título de bacharel em
Engenharia Civil.

Banca Examinadora

Prof. Dr. Carlos Eugénio Pereira Faculdade: Engenharia Civil - UFU
(Membro da Banca)

Prof. Dr. Alice Rosa da silva Faculdade: Engenharia Civil - UFU
(Membro da Banca)

Prof. MSc. Iridalques Fernandes de Paula Faculdade: Engenharia Civil - UFU
(Presidente da Banca - Orientador)

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha mãe, meus bisavôs e minha esposa, com admiração e gratidão por seu apoio, carinho e presença ao longo da minha trajetória acadêmica.

AGRADECIMENTOS

Quero expressar meu agradecimento aos familiares que me acompanharam durante toda a jornada da graduação, sendo o apoio deles essencial. Agradeço especialmente a Deus por iluminar esse período de estudos. Não posso deixar de reconhecer a importância dos professores e técnicos, sem os quais nada seria alcançado. Por último, minha gratidão eterna à instituição UFU.

RESUMO

Este trabalho avalia o desempenho hidráulico e a conformidade técnica da nova Estação de Tratamento de Água (ETA) de ciclo completo, compacta, adquirida pelo Departamento Municipal de Água e Esgotos (DMAE), de Nova Ponte – MG, tendo como base principal os parâmetros de projeto e operação preconizados pela ABNT NBR 12216:1992 e pela bibliografia especializada. Foi analisado o desempenho hidráulico das unidades de Mistura Rápida, Floculação, Decantação, Filtração e Desinfecção, componentes da ETA, para tratamento da vazão de 56 L/s, calculada para abastecimento da população local, estimada para o ano de 2050. Os resultados obtidos indicam que as dimensões e características das unidades componentes da ETA, são compatíveis com o estabelecimento de parâmetros de projeto e operação adequados, preconizados pela bibliografia especializada, podendo, nesse contexto, produzir água tratada de qualidade compatível com o Padrão de Potabilidade estabelecido pela Portaria GM/MS nº 888/2021, do Ministério da Saúde, contribuindo para a manutenção da saúde pública e a qualidade de vida da população local.

Palavras-chave:

Tratamento de água de Ciclo Completo; Desempenho hidráulico; ABNT NBR 12216:1992.

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 - População real de Nova Ponte - MG até 2022 e a estimativa até 2050 | 28 |
| Tabela 2 - Dados de vazão e escolha da calha Parshall..... | 30 |
| Tabela 3 - Valores de constantes K1 e N1. | 31 |
| Tabela 4 - Características do floculador mecânico. | 38 |
| Tabela 5 - Características das câmaras de floculação e os gradientes de velocidades..... | 38 |
| Tabela 6 - Detalhes operacionais do floculador. | 41 |
| Tabela 7 - Valores do tempo de detenção da água no tanque de contato..... | 5 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 - Captação no córrego do Artidônio para ETA da Vila Residencial..... | 22 |
| Figura 2 - Captação no córrego do Marinheiro para ETA Jardim Botânico..... | 22 |
| Figura 3 - Captação no córrego dos Barros para ETA da sede do DMAE..... | 23 |
| Figura 4 - Captação na represa de Nova Ponte para a ETA Jardim Botânico..... | 24 |
| Figura 5 - Estação compacta de Nova Ponte | 25 |
| Figura 6 - População entre 1970 a 2022 e a reta da regressão linear..... | 28 |
| Figura 7 - Esquema da Calha Parshall | 30 |
| Figura 8 - Corte ilustrativo da unidade de floculação | 38 |
| Figura 9 - Corte ilustrativo da unidade de decantação..... | 44 |
| Figura 10 - Corte ilustrativo da unidade de filtração | 51 |
| Figura 11 - Gráfico da velocidade ascensional e a expansão do leito filtrante | 53 |
| Figura 12 - Calha Parshall..... | 56 |
| Figura 13 - Floculador mecanizado | 58 |
| Figura 14 - Unidade de decantação de alta taxa | 61 |
| Figura 15 - Calha em inox ajustável..... | 61 |
| Figura 16 - Sistema de descarte do lodo da unidade de decantação..... | 62 |
| Figura 17 - Unidade do filtro..... | 63 |
| Figura 18 -Tanque de contato | 64 |

LISTA DE GRÁFICOS

| | |
|---|----|
| Gráfico 1 - Evolução do acesso à água tratada no Brasil | 15 |
|---|----|

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| RESUMO..... | 6 |
| SUMÁRIO | 10 |
| 1 INTRODUÇÃO | 13 |
| 2 OBJETIVOS..... | 13 |
| 2.1 OBJETIVO GERAL | 13 |
| 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 13 |
| 3 JUSTIFICATIVA | 13 |
| 4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 15 |
| 4.1 TRATAMENTO DE ÁGUA UTILIZANDO CICLO COMPLETO OU CONVENCIONAL..... | 16 |
| 4.1.1 Coagulação..... | 16 |
| 4.1.2 Floculação..... | 18 |
| 4.1.3 Decantação..... | 18 |
| 4.1.4 Filtração..... | 19 |
| 4.1.5 Desinfecção, fluoretação e Correção de pH..... | 20 |
| 5 PANORAMA ATUAL DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA EM NOVA PONTE – MG..... | 21 |
| 6 METODOLOGIA | 23 |
| 7 DESENVOLVIMENTO DO MEMORIAL DE CÁLCULO | 26 |
| 7.1 PROJEÇÃO DA POPULAÇÃO E MÉTODOS DE ANÁLISE..... | 27 |
| 7.2 CALHA PARSHALL..... | 29 |
| 7.3 FLOCULADOR | 37 |
| 7.4 DECANTADOR..... | 42 |
| 7.4.1 Calha de coleta de água decantada..... | 50 |
| 7.4.2 Poço de lodo | 50 |
| 7.5 FILTRO | 51 |
| 7.6 DESINFECÇÃO, FLUORETAÇÃO E CORREÇÃO DO (pH) | 53 |
| 8 RESULTADO E DISCUSSÃO | 55 |
| 8.1 MISTURA RÁPIDA | 55 |
| 8.2 FLOCULADORES | 56 |
| 8.3 DECANTADOR..... | 58 |

| | |
|--|-----------|
| 8.4 FILTROS | 62 |
| 8.5 DESINFECÇÃO, FLUORETAÇÃO E CORREÇÃO DO pH..... | 63 |
| 9 CONCLUSÃO..... | 65 |
| 10 REFERÊNCIAS..... | 65 |

1 INTRODUÇÃO

A crescente demanda por água potável e a necessidade de garantir o abastecimento seguro à população, impulsionam a constante busca por aprimoramentos nos sistemas de tratamento de água de abastecimento. No contexto da cidade de Nova Ponte - MG, com uma população atual de aproximadamente 15 mil habitantes, a aquisição recente de uma nova estação de tratamento de água, compacta, representa um marco significativo para a qualidade de vida da população e manutenção da saúde pública.

A nova estação de tratamento representa uma oportunidade para aprimorar a qualidade da água disponibilizada aos habitantes. A relevância desse empreendimento está intrinsecamente ligada à saúde pública, uma vez que a nova estação de tratamento poderá produzir água potável com características físicas, químicas e biológicas estabelecidas pela Portaria nº 888/2021 do Ministério da Saúde, atendendo à população futura estimada para o ano de 2050.

Nesse sentido, será conduzida uma análise do desempenho hidráulico da nova Estação de Tratamento de Água (ETA) compacta, adquirida pelo Departamento Municipal de Água e Esgotos (DMAE) de Nova Ponte – MG, tomando como base os parâmetros de projeto e operação estabelecidos pela ABNT NBR 12216:1992 e pela bibliografia especializada, compondo um sistema de abastecimento de água, com captação na represa de Nova Ponte, que poderá substituir o sistema atual.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Realizar a análise da concepção do projeto da Estação de Tratamento de Água compacta, recentemente adquirida pelo Departamento Municipal de Água e Esgoto, do município de Nova Ponte - MG e verificar o desempenho esperado desta unidade, com base nos parâmetros de projeto e operação estabelecidos pela ABNT NBR 12216:1992 e pela bibliografia especializada.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Com base nas características e informações desta unidade de tratamento, listadas no catálogo do fabricante, promover uma análise de sua concepção para avaliar sua adequação à tecnologia de ciclo completo ou convencional;
- Com base nas características e dimensões dos componentes de mistura rápida/coagulação, floculação, decantação e filtração desta unidade de tratamento, informadas no catálogo do fabricante, avaliar, a partir de critérios de dimensionamento hidráulico e operação, estabelecidos na NBR 12216:1992 e na bibliografia especializada, e eficiência esperada de cada componente para a vazão tratada de 56 L/s, calculada para atendimento à população estimada para o ano de 2050;
- Promover o levantamento das dimensões e características da unidade prevista para promover a desinfecção, a ser instalada anexa à ETA adquirida, e verificar sua conformidade com os parâmetros de dimensionamento estabelecidos na portaria GM/MS nº 888/2021 do Ministério da Saúde.

3 JUSTIFICATIVA

A nova ETA deverá integrar um novo sistema de abastecimento de água da cidade, com captação na represa local, podendo substituir o sistema existente. A ETA terá capacidade para tratar a vazão necessária ao atendimento da população prevista para o ano de 2050. Nesse contexto, o presente trabalho visa avaliar o desempenho esperado de cada unidade componente da ETA adquirida, com base nos parâmetros de dimensionamento hidráulico estabelecidos pela NBR 12216:1992 e pela

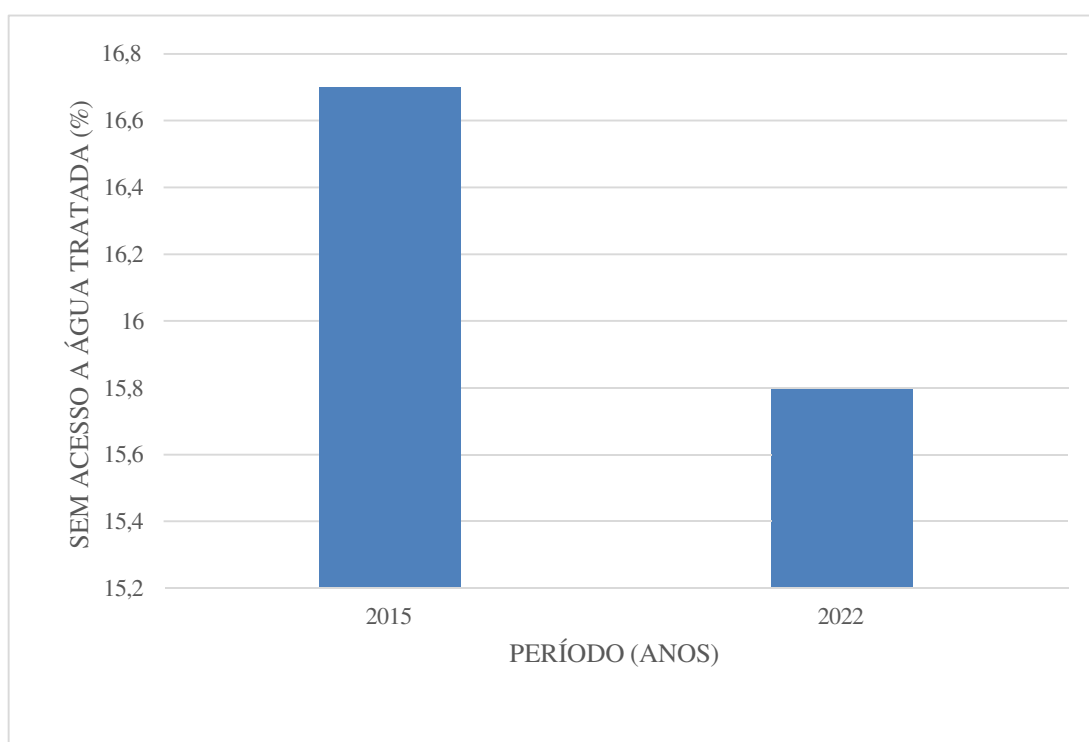
bibliografia especializada, subsídio para avaliar se a concepção, dimensões e características da ETA, são adequadas à produção de água tratada em conformidade com o Padrão de Potabilidade citado na portaria GM/MS nº 888/2021, do ministério da Saúde.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O primeiro relato histórico do abastecimento de água no Brasil refere-se ao ano de 1561, quando o governador geral da capitania do Rio de Janeiro, Estácio de Sá, no período colonial, solicitou a escavação do primeiro poço para abastecer a cidade do Rio de Janeiro. Em 1857, São Paulo implanta seu primeiro sistema de abastecimento de água encanada, seguida de Porto Alegre e Rio de Janeiro no ano de 1876 (AEGEA,2018).

Segundo o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), em 2015, 16,7% da população brasileira não tinha acesso à água tratada. Esse cenário pouco mudou ao longo dos anos, pois estimativas mais recentes indicam que, em 2022, ainda havia 15,8% da população sem esse acesso, segundo a mesma fonte. Esses dados evidenciam que, apesar dos avanços no tratamento de água ao longo de sete anos, algumas regiões continuam enfrentando essa carência, muitas vezes devido à dificuldade de acesso e à escassez de recursos. No Gráfico 1, pode-se observar a evolução do acesso à água tratada no Brasil.

Gráfico 1 – Evolução do acesso à água tratada no Brasil.



Fonte: Autor, (2025).

As principais tecnologias de tratamento de água para consumo humano, segundo Di Bernardo e Paz (2010), são: Filtração em Múltiplas Etapas, Filtração Direta Ascendente, Filtração Direta Descendente, Dupla Filtração, Floto-Filtração e Ciclo Completo ou convencional.

A nova ETA de Nova Ponte - MG utilizará a tecnologia de tratamento de Ciclo Completo, amplamente empregada no tratamento de água de mananciais superficiais. Assim, este estudo busca analisar a eficiência hidráulica de cada componente da ETA, para a vazão futura de 56 L/s, verificando sua adequação aos parâmetros de projeto e operação estabelecidos pela ABNT NBR 12216:1992 e pela bibliografia especializada, um dos requisitos para assegurar a produção de água tratada, compatível com o Padrão de Potabilidade atual.

4.1 TRATAMENTO DE ÁGUA UTILIZANDO CICLO COMPLETO OU CONVENCIONAL

A tecnologia de tratamento de água de Ciclo Completo compreende as seguintes unidades distintas:

- Mistura rápida/Coagulação;
- Floculação;
- Decantação/Flotação;
- Filtração;
- Desinfecção, Fluoretação e correção de pH.

4.1.1 Coagulação

A coagulação é um processo destinado à desestabilização de partículas coloidais e suspensas, por meio de fenômenos químicos e físicos. Promovida a aplicação do coagulante na água bruta (Mistura Rápida), ocorrem reações químicas que resultam na formação de espécies hidrolisadas com cargas positivas ou precipitados provenientes do coagulante empregado. A partir da energia dissipada na unidade de mistura rápida, essas espécies colidem com as impurezas presentes na água, principalmente colóides de carga negativa que causam a turbidez, promovendo a sua

neutralização e desestabilização, facilitando sua agregação e remoção nas unidades subsequentes (DI BERNARDO e PAZ, 2010 e VIANNA, 2002).

Conforme ressaltado por Di Bernardo, Paz (2010) e Vianna (2002), entre os produtos químicos amplamente empregados para o processo de coagulação, destacam-se o sulfato férrico, sulfato ferroso, sulfato de alumínio, hidróxi-cloreto de alumínio, cloreto férrico e sulfato ferroso clorado. Alcalinizantes como a cal hidratada podem ser utilizados para ajustar o pH de coagulação.

Segundo Richter (2009), o coagulante mais utilizado no tratamento de água, no Brasil, é o sulfato de alumínio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$), um sal que pode ser adquirido em pó, granulado ou em solução. Quando os coagulantes são aplicados na água, ocorrem hidrólise e polimerização, e essas reações são afetadas por fatores como pH, natureza das partículas primárias presentes na água bruta, características e concentração do coagulante e condições de mistura. Esses fatores são decisivos para a eficiência do processo de coagulação.

A operação de Mistura Rápida desempenha o papel de dispersar o coagulante na água bruta, em local de intensa dissipação de energia, induzindo a rápida colisão entre o coagulante e as partículas coloidais, gerando os subprodutos necessários à coagulação. A intensidade da energia dissipada e o tempo de detenção constituem-se em parâmetro de dimensionamento desses misturadores. Esta operação normalmente é executada com o emprego de dispositivos hidráulicos ou mecanizados. A água coagulada é conduzida aos floculadores por dispositivos adequados (RICHTER, 2009).

Na Estação de Tratamento de Água de Nova Ponte, será utilizada a calha Parshall, sistema hidráulico de mistura rápida, que permite medições de vazões, com base na altura da lâmina líquida em seção próxima à entrada, determinada com a utilização de régua graduada ou sensor de nível.

4.1.2 Floculação

A floculação consiste na agregação das partículas previamente desestabilizadas durante o processo de coagulação. Nessa fase, ocorre a formação de flocos, decorrente do encontro e a coalescência das partículas coaguladas. A formação adequada de flocos é possibilitada pela dissipação de energia, nos floculadores, de magnitude que permita a formação de flocos consistentes e impeça a sua deposição antes dos decantadores. A energia dissipada e o tempo de detenção de floculação constituem-se em parâmetros utilizados no dimensionamento. Para a promoção da floculação são utilizados dispositivos hidráulicos ou mecanizados. A água floculada é conduzida aos decantadores por dispositivos adequados.

4.1.3 Decantação

Os decantadores são unidades projetadas para a remoção dos flocos sedimentáveis, gerados na etapa de floculação, por meio da ação da gravidade. Os decantadores podem ser caracterizados por 4 regiões (zonas) distintas e interdependentes: zona de entrada (distribuição de água floculada); zona de sedimentação (região onde ocorre a sedimentação de flocos), zona de acúmulo e compactação de lodo (região situada no fundo do decantador) e zona de saída (dispositivos de coleta de água decantada).

Nas ETAs podem ser utilizados os decantadores convencionais ou os decantadores de alta taxa (caso do decantador da ETA em estudos). Nos decantadores convencionais o regime de escoamento, na zona de sedimentação é turbulento, retardando a sedimentação dos flocos. Nos decantadores de alta taxa o regime de escoamento, na zona de sedimentação, é laminar, facilitando a sedimentação dos flocos. Para a mesma vazão de projeto, os decantadores de alta taxa constituem-se em unidades mais compactas em comparação com os decantadores convencionais, exigindo menores áreas para implantação.

De acordo com Di Bernardo e Paz (2010), é recomendável a instalação de no mínimo duas unidades de decantação, garantindo que o funcionamento da ETA não seja interrompido durante o isolamento de uma unidade para reparo ou manutenção.

De acordo com a NBR 12216, estações com capacidade inferior a 1.000 m³/dia, operando continuamente, ou com capacidade de até 10.000 m³/dia, com período de funcionamento inferior a 18 horas diárias, podem contar com apenas uma unidade de decantação, desde que não mecanizada. Já para estações com capacidade superior a 10.000 m³/dia, que operam por mais de 18 horas diárias ou utilizam decantadores mecanizados, é obrigatório o uso de pelo menos duas unidades iguais, garantindo redundância e continuidade operacional durante manutenções ou paradas emergenciais.

O lodo dos decantadores constitui-se em uma das águas residuárias geradas no processo de tratamento na ETA e deve receber acondicionamento adequado. A água decantada é conduzida aos filtros por dispositivos adequados.

4.1.4 Filtração

Segundo Seckler (2022), a filtração, última etapa da fase de clarificação, é a operação onde ocorre a remoção dos flocos não sedimentados nos decantadores.

Nas ETAs de Ciclo Completo são utilizados os filtros rápidos por gravidade, de fluxo descendente. Esses filtros podem ser projetados com camada filtrante simples de areia, camada filtrante dupla de antracito e areia ou camada filtrante tripla de antracito, areia e granada ou outro material. A água filtrada é coletada em dispositivos instalados em sua parte inferior (fundo do filtro) e conduzida por tubulação de água filtrada externa ao filtro (tubulação da galeria), até o tanque de contato, onde é promovida a desinfecção (DE PAULA, 2025).

Encerrada a carreira de filtração (tempo de operação do filtro entre 2 lavagens consecutivas), é promovida a operação de lavagem do filtro. A lavagem do filtro é feita a contra corrente (sentido ascendente), com água para lavagem proveniente de reservatório elevado, de elevatória ou da operação de outros filtros. Encerrada a lavagem, o filtro é recolocado na operação de filtração, iniciando nova carreira. A água de lavagem dos filtros constitui-se em água residuária gerada no processo de tratamento e deve receber acondicionamento adequado (DE PAULA, 2025).

Genericamente, os filtros podem operar em fluxo descendente ou ascendente. A maioria das estações de tratamento utiliza filtros de fluxo descendente, pois não possuem limitações significativas na taxa de filtração, requerem menor altura de meio filtrante e não enfrentam restrições operacionais, as que ocorrem nos filtros de fluxo ascendente (DI BERNARDO, LUIZ; MATSUMOTO, TSUNAO, 1989).

A nova eta de Nova Ponte conta com quatro filtros rápidos por gravidade, com camada dupla filtrante de antracito e areia. A seguir são apresentadas as especificações da ABNT NBR 12216:1992 para o leito filtrante e camada suporte.

1. Camada superior: Carvão antracito

- Espessura mínima: 45 cm;
- Tamanho efetivo: 0,8 mm a 1,0 mm.

2. Camada intermediária: Areia filtrante

- Espessura mínima: 25 cm;
- Tamanho efetivo: 0,40 mm a 0,45 mm.

3. Camada suporte: Seixos rolados

- Espessura mínima: ≥ 2 vezes a distância entre os bocais do fundo do filtro, nunca inferior a 25 cm;
- Os seixos são dispostos em camadas de granulometria decrescente no sentido ascendente.
- Requisitos:
 - O tamanho máximo dos seixos em um estrato deve ser menor ou igual ao tamanho mínimo do estrato imediatamente abaixo;
 - O estrato sobre os bocais deve conter seixos do tamanho ≥ 2 vezes o diâmetro dos orifícios dos bocais e com dimensão mínima de 1 cm.

4.1.5 Desinfecção, fluoretação e Correção de pH

A desinfecção é a etapa final do tratamento de água, garantindo a eliminação de microrganismos patogênicos e a segurança microbiológica da água na rede de distribuição, pela geração da concentração residual do desinfetante. Esse processo pode ser realizado com a utilização de agentes físicos e/ou químicos e complementa a etapa de clarificação, que reduz impurezas constituintes dos flocos, incluindo microrganismos, mas não remove integralmente microrganismos patogênicos eventualmente presentes na água bruta (LIBÂNIO, 2010).

A eficiência desse processo depende de fatores como as características da água, a resistência dos microrganismos e o potencial oxidante do desinfetante. O tanque de contato, unidade onde se processa a desinfecção, é frequentemente equipado com chicanas para evitar curto-circuitos, garantindo adequada homogeneização do cloro na água. Em estações menores, o primeiro reservatório de distribuição abastecido pela ETA, pode ser usado como tanque de contato (LIBÂNIO, 2010). A portaria GM/MS nº 888/2021, do Ministério da Saúde e a bibliografia especializada, fornecem os parâmetros de dimensionamento do tanque de contato.

Juntamente com a desinfecção, realiza-se, no tanque de contato, a fluoretação, obrigatória no Brasil, etapa destinada a ajustar os níveis de fluoretos na água para prevenir cáries dentárias. Compostos como fluossilicato de sódio, fluoreto de sódio e ácido fluossilícico são amplamente utilizados, desde que atendam aos critérios de pureza e solubilidade e não confirmem toxicidade à água (LIBÂNIO, 2010).

No tanque de contato é adicionado o alcalinizante para a correção de pH, ajustando seu valor ao padrão de potabilidade. Produtos como cal virgem, cal hidratada, carbonato de sódio e hidróxido de sódio são utilizados conforme a necessidade (LIBÂNIO, 2010).

5 PANORAMA ATUAL DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA EM NOVA PONTE – MG

O sistema atual de tratamento de água do município de Nova Ponte é composto por três unidades distintas, cada uma abastecida por um ponto de captação específico. A

primeira captação ocorre no córrego do Artidônio, no qual a água é conduzida até a Estação de Tratamento de Água (ETA) localizada na Vila Residencial, um bairro mais afastado do centro da cidade, conforme ilustrado na Figura 1.

Figura 1 - Captação no córrego do Artidônio para ETA da Vila Residencial.



Fonte: Google Earth (2025).

A segunda captação se dá no córrego do Marinheiro, sendo sua água direcionada à ETA Jardim Botânico, como mostra na Figura 2.

Figura 2 - Captação no córrego do Marinheiro para ETA Jardim Botânico.



Fonte: Google Earth (2025).

A terceira captação ocorre no córrego dos Barros, com destino à estação de tratamento localizada na sede do Departamento Municipal de Água e Esgoto (DMAE), como mostra na Figura 3.

Figura 3 - Captação no córrego dos Barros para ETA da sede do DMAE.



Fonte: Google Earth (2025).

As três estações seguem um mesmo processo de tratamento, no qual a água bruta recebe a aplicação de coagulante por meio de um dispersor hidráulico, sendo posteriormente encaminhada a um decantador e, em seguida a um filtro. Após esse processo, a água é conduzida a um reservatório, onde são promovidas a desinfecção, a fluoretação e a correção de pH. Concluído esse ciclo, a água é distribuída à população por meio da rede de distribuição. A ETA da Vila Residencial destina-se exclusivamente ao atendimento do referido bairro, enquanto as ETAs do Jardim Botânico e da sede do DMAE são responsáveis pelo fornecimento de água tratada à área urbana de Nova Ponte, incluindo a região histórica conhecida como Cidade Velha.

6 METODOLOGIA

Procedeu-se ao levantamento das características do sistema de tratamento atual de Nova Ponte, para verificar se a nova ETA poderá ser substituí-lo, considerando um horizonte de projeto de 25 anos.

Considerando que o sistema atualmente em operação mostrou-se insuficiente para atender à crescente demanda por água tratada no município, foi licitada a aquisição de uma estação de tratamento compacta, de ciclo completo. A captação para essa nova unidade será realizada na represa de Nova Ponte, com a utilização de um sistema de bombeamento para elevação da água até a nova ETA, que será instalada no mesmo local da ETA Jardim Botânico. A Figura 4 ilustra melhor a posição da ETA Jardim Botânico em relação à represa de Nova Ponte.

Figura 4 - Captação na represa de Nova Ponte para a ETA Jardim Botânico.



Fonte: Google Earth (2025).

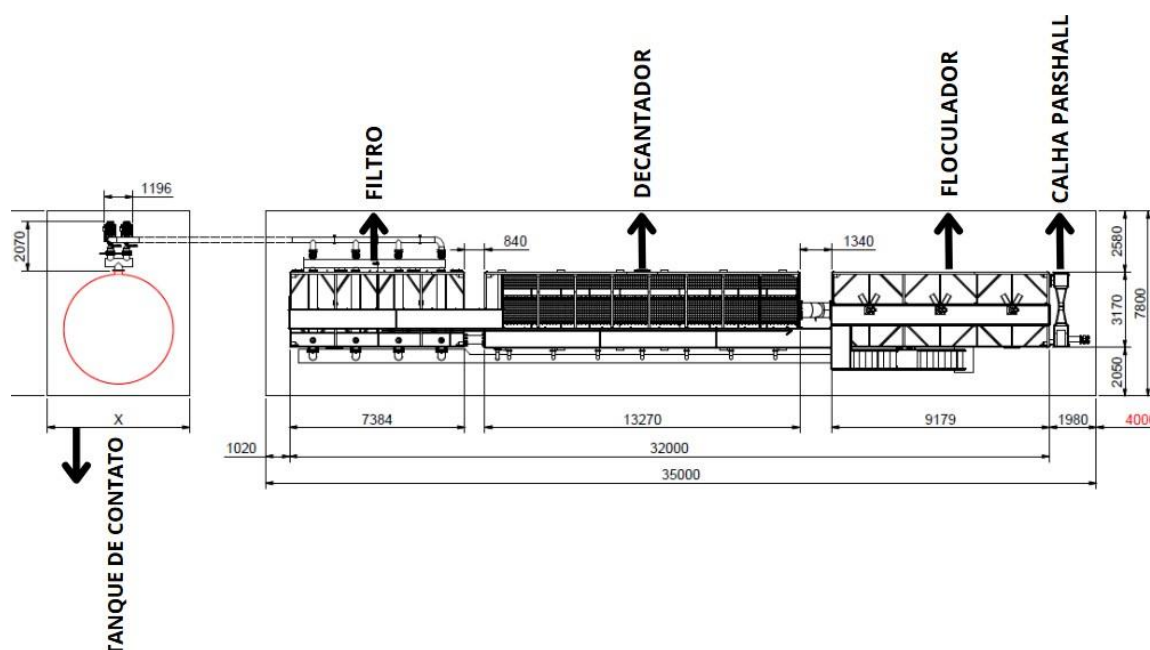
O modelo de estação compacta com ciclo completo é amplamente recomendado para situações em que a captação ocorre em corpos hídricos represados, como é o caso em questão.

Antes da realização da análise de desempenho hidráulico da nova estação, foi conduzida uma revisão bibliográfica, com o objetivo de compreender detalhadamente os princípios, métodos e tecnologias envolvidas no tratamento de água. Adicionalmente, foi realizado um breve levantamento sobre a evolução dos sistemas de tratamento de água no Brasil, uma descrição sucinta de cada unidade que compõe

a tecnologia de tratamento de Ciclo Completo, e também foi abordado, como é o sistema atual de tratamento de água de Nova Ponte.

Na sequência, procedeu-se à análise da concepção da ETA, com base no catálogo do fabricante, que forneceu todas as dimensões e especificações das unidades que compõem a estação destinada à cidade. Na Figura 5, é possível visualizar melhor a ETA compacta de Nova Ponte.

Figura 5 - Estação compacta de Nova Ponte. Esquema em planta.



Fonte: Catálogo do Fabricante (2025).

Essa etapa teve como finalidade verificar a capacidade da estação em atender à demanda projetada para uma população futura, considerando a vazão nominal de 56 L/s e um horizonte de planejamento de 25 anos. Dessa forma, foi necessário compreender os detalhes do projeto, a fim de avaliar a compatibilidade entre a infraestrutura adquirida e as necessidades futuras da população.

Para a avaliação do desempenho hidráulico da ETA adquirida, cada unidade de tratamento foi analisada com base nas informações do catálogo do fabricante. Com o

objetivo de estimar a vazão correspondente à demanda da população prevista para o ano de 2050, utilizaram-se dados históricos disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), por meio dos censos populacionais. Adotou-se a regressão linear, por apresentar boa adequação aos dados disponíveis. A partir dessa projeção populacional, foi possível estimar a vazão futura de demanda e, assim, verificar a compatibilidade técnica de cada componente da ETA com os critérios estabelecidos na ABNT NBR 12216 e na bibliografia técnica especializada.

Com base na vazão estimada para o ano de 2050, foram realizados os cálculos hidráulicos necessários para avaliar o desempenho hidráulico de cada componente da estação. As análises compreenderam: a calha Parshall, utilizada como misturador rápido hidráulico e como dispositivo de medições de vazões; o floculador mecanizado; o decantador de alta taxa, dotado de lamelas octogonais; os filtros de fluxo descendente com dupla camada filtrante; e o tanque de contato (unidade de desinfecção, fluoretação e correção de pH). Após a etapa de desinfecção, a água tratada será conduzida ao reservatório e, posteriormente, distribuída à população por meio da rede de abastecimento do município de Nova Ponte.

Para a discussão dos resultados obtidos, foram considerados todos os elementos técnicos e documentais disponíveis, incluindo registros fotográficos, cálculos realizados, a ABNT NBR 12216:1992 e a bibliografia especializada. Com base nesses recursos, foi possível realizar uma análise crítica e fundamentada dos componentes que compõem a estação compacta adquirida, avaliando sua eficiência e conformidade com os requisitos normativos e técnicos.

Por fim, com o suporte de todas as análises e estudos realizados, foi elaborada a conclusão do trabalho, reunindo as principais observações acerca da viabilidade, eficiência e adequação da estação de tratamento compacta instalada em Nova Ponte.

7 DESENVOLVIMENTO DO MEMORIAL DE CÁLCULO

Neste tópico, serão abordados os cálculos e dimensionamentos necessários para avaliar o desempenho hidráulico da nova Estação de Tratamento de Água (ETA) em Nova Ponte - MG.

Essas análises são fundamentais para compreender se a ETA atenderá às demandas da população futura, operando conforme preconizado na NBR 12216:1992 e na bibliografia especializada.

7.1 PROJEÇÃO DA POPULAÇÃO E MÉTODOS DE ANÁLISE

Para o cálculo da vazão tratada no ano de 2050, foi feita a previsão de população da cidade de Nova Ponte, com base nos dados de censo populacional fornecidos pelo IBGE, de 1970 a 2022.

Com o objetivo de realizar uma projeção da população de Nova Ponte, optou-se por utilizar o método de regressão linear simples, devido à sua boa adequação aos dados coletados da cidade. A qualidade do ajuste da regressão foi medida pelo R-quadrado (R^2), que é uma medida estatística que quantifica o quão próximo os dados reais estão da linha de regressão ajustada. O valor de R^2 obtido foi de 0,91, o que indica uma forte correlação entre os dados e a linha de regressão, já que o valor de R^2 varia de 0 a 1, sendo valores próximos de 1 indicam um bom ajuste do modelo.

Com o valor de R^2 aceitável, foi possível utilizar a equação obtida através da regressão para calcular a população futura de Nova Ponte. Essa equação, derivada da Figura 1, na qual proporciona uma previsão confiável sobre o crescimento populacional da cidade, um dado essencial para o planejamento da Estação de Tratamento de Água (ETA) e para o dimensionamento de recursos e infraestrutura necessários para atender à demanda futura.

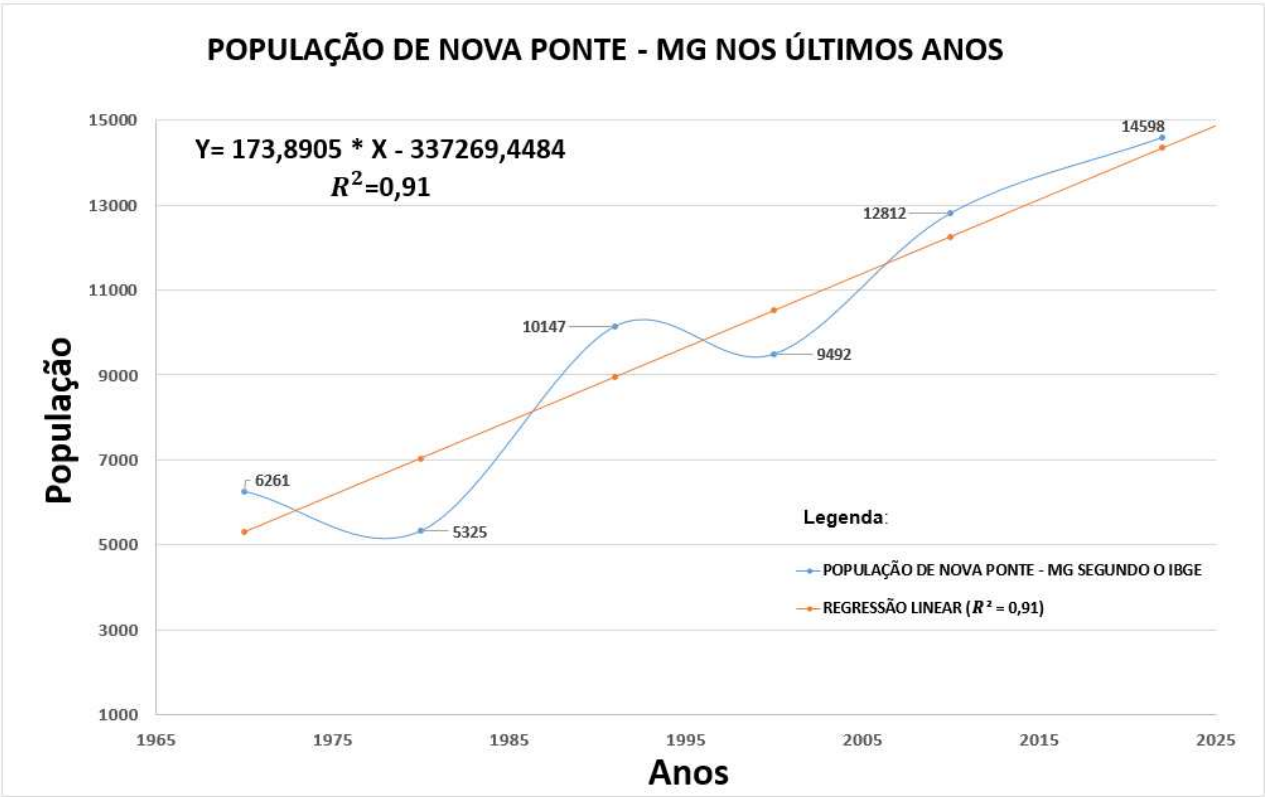
A partir da Figura 6, pode se obter a equação da reta da regressão linear simples, sendo ela: $Y = 173,8905 \cdot X - 337269,4484$, em que:

Y: População prevista para o ano X (habitantes)

X: ano da previsão

assim, foi possível estimar a população futura de Nova Ponte, como mostra a Tabela 1.

Figura 6 - População entre 1970 a 2022 e a reta da regressão linear.



Fonte: Autor (2024).

Tabela 1 - População real de Nova Ponte – MG até 2022 e a estimativa até 2050.

| ANO | POPULAÇÃO |
|------|-----------|
| 1970 | 6261 |
| 1980 | 5325 |
| 1991 | 10147 |
| 2000 | 9492 |
| 2010 | 12812 |
| 2022 | 14598 |
| 2030 | 15728 |
| 2040 | 17467 |
| 2050 | 19206 |

Fonte: Autor (2025).

Com isso, foi possível calcular a vazão futura utilizando a Equação 1:

$$Q_f = \frac{k_1 * C_{ETA} * P * q}{86400}$$
Equação 1

Onde:

Q_f : vazão de água tratada considerando a população futura (l/s);

k_1 : coeficiente do dia de maior consumo: 1,2 (adotado);

C_{ETA} : coeficiente que exprime a relação vazão tratada/vazão consumida quando ocorre o descarte das águas residuárias geradas no processo de tratamento: 1,05 (adotado);

P : população final da área a ser abastecida, no caso para projeção de 2050: 19206 (hab.);

q : consumo per capita = 200 (l/hab.dia) (adotado).

Com esses dados de entrada, foi obtido o valor da vazão futura de 56 (l/s), considerando a população de 19206 (hab.) para o ano de 2050. O próximo passo é utilizar esse dado e verificar se cada unidade da estação de tratamento está adequada para essa vazão.

7.2 CALHA PARSHALL

A água bruta, ao ser conduzida para o sistema de tratamento, ela primeiro passa pela calha Parshall, unidade de mistura rápida hidráulica e de medições de vazões. Esta unidade desempenha importante função no processo de coagulação da água, por conter um trecho que produz a dissipação de energia adequada à dispersão eficiente de produtos químicos, como os coagulantes. Na Figura 7 é possível entender melhor como ocorre a mistura rápida.

Para seleção da calha Parshall, são utilizadas tabelas, como a Tabela 2 do presente trabalho, que permitem selecionar a largura da garganta (W), compatível com as vazões tratadas na ETA. Definida a largura da garganta, as demais dimensões são tabeladas.

Tabela 3 - Valores de constantes K1e N1.

| W | | K ₁ (*) | N ₁ (*) |
|--------|-------|--------------------|--------------------|
| pol,pé | m | | |
| 3" | 0,075 | 3,072 | 0,646 |
| 6" | 0,150 | 1,842 | 0,633 |
| 9" | 0,229 | 1,505 | 0,654 |
| 1' | 0,305 | 1,276 | 0,657 |
| 1 1/2' | 0,460 | 0,966 | 0,650 |
| 2' | 0,610 | 0,795 | 0,645 |
| 3' | 0,915 | 0,607 | 0,639 |
| 4' | 1,220 | 0,505 | 0,634 |
| 5' | 1,525 | 0,436 | 0,630 |
| 6' | 1,830 | 0,389 | 0,627 |
| 7' | 2,135 | 0,352 | 0,625 |
| 8' | 2,440 | 0,324 | 0,623 |

Autor: Material didático MSc. Iridalques Fernandes de Paula (2025).

O primeiro cálculo é da altura da lamina de água na seção (a) da Figura 7:

$$H_a = K_1 * Q_f^{N_1} \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

- H_a : altura da lâmina de água na seção (a);
- K_1 e N_1 : são constantes obtidas a partir da Tabela 3, sendo: 1,842 e 0,633 respectivamente;
- Q_f : vazão futura: 56 (l/s).

O valor obtido para H_a é igual a 0,297 (m).

A próxima etapa é o cálculo geométrico para encontrar o valor da seção D' da calha Parshall (Figura 7), utilizando a Equação 3:

$$D' = \frac{2}{3} * (D - W) + W \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

- D': seção onde é realizada a medição da vazão na calha Parshall;

- D e W: medidas encontradas na calha Parshall, com os valores: 0,403 (m) e 0,152 (m), respectivamente.

Assim, obteve-se o valor de D' igual a 0,319 (m). Essa é a seção onde normalmente ocorre a medição da vazão, e como esse valor não é fornecido diretamente, foi necessário realizar o cálculo geométrico.

Agora, é possível determinar a velocidade da água nesta seção (D') utilizando a seguinte Equação:

$$V_a = \frac{Q_f}{H_a * D'} \quad \text{Equação 4}$$

Onde:

- V_a : velocidade da água na seção de medição da vazão;
- Q_f : vazão futura: 56 (l/s);
- H_a : altura da lâmina de água, na seção (a) da calha Parshall: 0,297 (m);
- D': largura da seção, onde normalmente é realizado a medição da vazão: 0,319 (m).

Com os valores obtidos, a velocidade V_a foi determinada, sendo de 0,59 (m/s), o que possibilitou avançar para os próximos cálculos.

O próximo passo consiste em determinar a altura da lâmina de água no início do ressalto. Para isso, foram realizados os seguintes cálculos, visando determinar a altura da lâmina de água e a velocidade da água nesse ponto.

$$E_A = H_a + \frac{V_a^2}{2 * g} + N \quad \text{Equação 5}$$

Onde:

- E_A : energia total;
- H_a : altura da lâmina de água, na seção (a) da calha Parshall: 0,297 (m);

- V_a : velocidade da água na seção (D'): 0,59 (m/s);
- g : aceleração da gravidade: 9,81 (m/s);
- N : medida em relação a calha Parshall (Tabela 2): 0,114 (m).

A energia total E_A é de 0,429 (m), na seção antes do ressalto, no trecho convergente da calha Parshall. Agora é calculado o $\cos\theta$, nessa seção, para em seguida determinar a velocidade da água.

Assim, o valor de $\cos\theta$, que estabelece a relação entre a gravidade, a vazão e a geometria da calha, é calculado:

$$\cos\theta = -\frac{g * Q_f}{W * \left(\frac{2 * g * E_a}{3}\right)^{\frac{3}{2}}} \quad \text{Equação 6}$$

Onde:

- θ : ângulo hipotético de atrito;
- Q_f : vazão futura: 56 (l/s);
- W : medida encontrada na calha Parshall (Tabela 2): 0,152 (m);
- E_A : energia total: 0,429 (m).

Desta forma, o valor do ângulo teta encontrado é de 139,464°.

Com isso, é possível calcular os valores: da velocidade antes do ressalto (V_1) e a altura da lâmina de água no início do ressalto (Y_1).

$$V_1 = 2 * \cos\left(\frac{\theta}{3}\right) * \left(\frac{2 * g * E_a}{3}\right)^{\frac{1}{2}} \quad \text{Equação 7}$$

Onde:

- V_1 : velocidade antes do ressalto;
- θ : ângulo hipotético de atrito: 139,464°;
- E_A : energia total: 0,429 (m).

Assim, o valor encontrado da velocidade V_1 , sendo antes do ressalto é de 2,306 (m/s).

Agora, segue para o cálculo da altura da lamina de água no início do ressalto:

$$Y_1 = \frac{Q_f}{V_1 * W} \quad \text{Equação 8}$$

Onde:

- Y_1 : altura da lamina de água no início do ressalto;
- Q_f : vazão futura: 56 (l/s);
- V_1 : velocidade antes do ressalto: 2,306 (m/s);
- W : medida encontrada na calha Parshall (Tabela 2), com o valor de 0,152 (m).

A altura da lamina de água no início do ressalto (Y_1) é de 0,16 (m). O próximo passo é o cálculo do número de Froude, utilizando a Equação 9:

$$FR = \frac{V_1}{\sqrt{g * Y_1}} \quad \text{Equação 9}$$

Onde:

- FR : número de Froude;
- V_1 : velocidade antes do ressalto: 2,306 (m/s);
- Y_1 : altura da lamina de água no início do ressalto: 0,16 (m).

O valor do número de Froude obtido foi 1,842.

A próxima etapa é o cálculo da altura água no trecho divergente e após ele, além disso, calcular a velocidade da água no trecho divergente. Esses valores foram obtidos utilizando as próximas Equações:

$$Y_3 = \frac{Y_1}{2} * \left[(1 + 8 * FR^2)^{\frac{1}{2}} - 1 \right] \quad \text{Equação 10}$$

Onde:

- Y_3 : altura da lamina de água no trecho divergente;
- Y_1 : altura da lamina de água no início do ressalto: 0,16 (m);
- FR : número de Froude: 1,842.

A altura da lamina de água no trecho divergente (Y_3) é de 0,344 (m).

O cálculo de Y_2 e V_2 são essenciais para o cálculo do tempo de detenção, sendo assim, segue as Equações 11 e 12:

$$Y_2 = Y_3 - (N - K) \quad \text{Equação 11}$$

Onde:

- Y_2 : parte da altura da lamina de água na seção depois do trecho divergente;
- Y_3 : altura da lamina de água no trecho divergente: 0,344 (m);
- N e K : são as medidas correspondentes a calha Parshall e que podem ser encontradas na Tabela 2, com os valores de 0,114 (m) e 0,076 (m), respectivamente.

O valor encontrado de Y_2 é de 0,306 m. O próximo passo é o cálculo da velocidade V_2 .

$$V_2 = \frac{Q_f}{Y_2 * C} \quad \text{Equação 12}$$

Onde:

- V_2 : velocidade depois do trecho divergente;
- Q_f : vazão futura: 56 (l/s);
- Y_2 : parte da altura da água na seção depois do trecho divergente: 0,306 (m);

Com esses valores calculados de Y_2 e V_2 , sendo respectivamente 0,306 (m) e 0,465 (m/s) foi possível avançar para a determinação do tempo de detenção e o gradiente de velocidade.

O tempo médio de detenção da água no trecho divergente foi calculado pela Equação 13:

$$T = \frac{G}{\frac{(V_1 + V_2)}{2}} \quad \text{Equação 13}$$

Onde:

- T: tempo de detenção da água no trecho divergente;
- G: medida encontrada na Tabela 2, referente a calha Parshall: 0,61 (m);
- V_1 : velocidade antes do ressalto: 2,306 (m/s);
- V_2 : velocidade depois do trecho divergente: 0,465 (m/s);

Assim, o tempo de detenção da água no trecho divergente (T) encontrado é de 0,44 (s).

O gradiente de velocidade foi determinado utilizando as próximas Equações, primeiro determina a perda de carga na calha Parshall e depois determina o gradiente de velocidade, assim:

$$h = H_a + N - Y_3 \quad \text{Equação 14}$$

Onde:

- h : perda de carga da calha parshall;
- H_a : altura da lâmina de água na seção (a): 0,297 (m);
- N: medida correspondente a calha Parshall e que pode ser encontrada na Tabela 2, com o valor de 0,114 (m).
- Y_3 : altura da lamina de água no trecho divergente: 0,344 (m);

A perda de carga no vertedor da calha Parshall (h) é de 0,067 m. Agora será calculado o gradiente de velocidade :

$$G_m = \sqrt{\frac{\gamma * h}{\mu * T}}$$
Equação 15

Onde:

- G_m : gradiente de velocidade;
- γ : peso específico da água: 1000 (kgf/m³);
- h : perda de carga na calha Parshall: 0,067 (m);
- μ : viscosidade da água: 0,000103 (kgf*s/m² a 20°C);
- T : tempo de detenção: 0,44 (s);

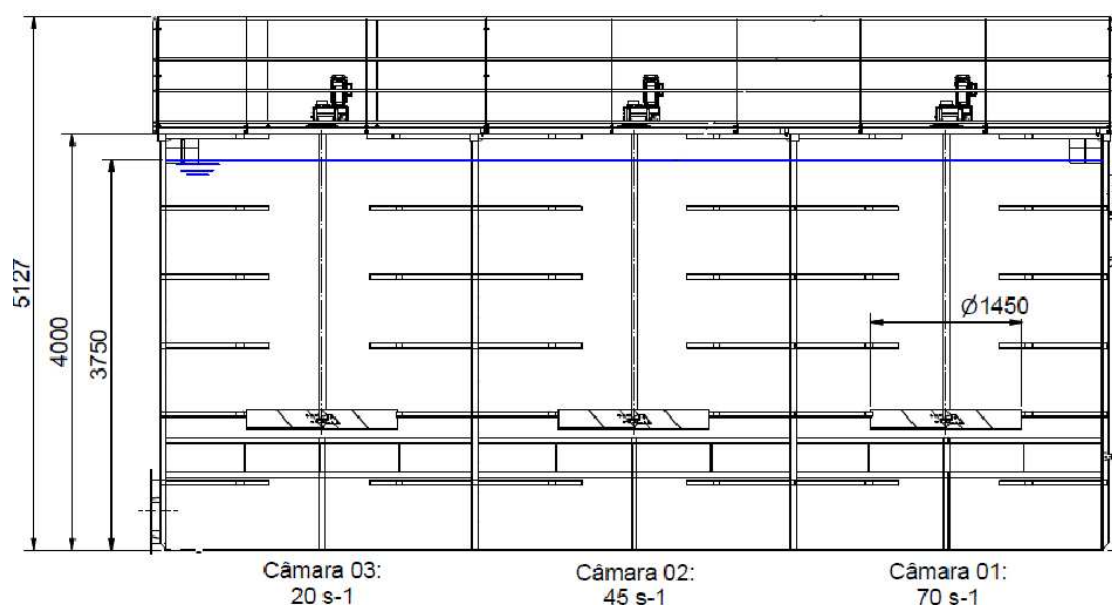
O gradiente de velocidade é de 1217(s⁻¹).

7.3 FLOCULADOR

Na estação de tratamento de água de Nova Ponte, o floculador utilizado é do tipo mecanizado. É acionado por um motoredutor de eixos paralelos e controlado por um inversor de frequência, que permite ajustar a rotação, alterando a intensidade de agitação, conforme necessário. Os rotores são do tipo fluxo axial, com 6 paletas inclinadas a 45°, garantindo uma mistura eficiente da água. Na Figura 8, é possível observar um corte da unidade de floculação e suas características.

A Tabela 4 apresenta as especificações do rotor utilizado, enquanto a Tabela 5 exibe as características das câmaras de floculação. A unidade de floculação é subdividida em três compartimentos, cada um com gradientes de velocidade distintos e pré-estabelecidos, permitindo uma floculação progressiva e otimizada. O processo começa com uma agitação mais intensa na primeira câmara e vai sendo reduzido gradativamente até a terceira.

Figura 8 – Corte ilustrativo da unidade de floculação.



Fonte: Catálogo do Fabricante (2025).

Tabela 4 - Características do floculador mecânico.

| TIPO DE FLOCULADOR MECÂNICO | |
|-----------------------------|-------|
| ROTOR | AXIAL |
| NÚMERO DE PALHETAS | 6 |
| DIÂMETRO (m) | 1,45 |
| INCLINAÇÃO (°) | 45 |

Fonte: Catálogo do fabricante (2024).

Tabela 5 - Características das câmaras de floculação e os gradientes de velocidades.

| TIPO DE CÂMARA DE FLOCULAÇÃO (3 CÂMARAS) | |
|--|------|
| COMPRIMENTO UNITÁRIO (m) | 3 |
| LARGURA (m) | 3 |
| ALTURA ÚTIL (m) | 3,75 |
| ALTURA TOTAL (m) | 4 |
| GRADIENTE DE VELOCIDADE PARA 1º CÂMARA (s⁻¹) | 70 |
| GRADIENTE DE VELOCIDADE PARA 2º CÂMARA (s⁻¹) | 45 |
| GRADIENTE DE VELOCIDADE PARA 3º CÂMARA (s⁻¹) | 20 |

Fonte: Catálogo do fabricante (2024).

Serão realizados cálculos para verificar se o tempo de detenção da água no floculador, bem como a potência, a rotação e a velocidade periférica do rotor, são adequados para uma futura vazão de 56 (l/s).

O primeiro cálculo é utilizando a Equação 16 para determinar o volume útil da câmara de floculação. Assim:

$$V_{\text{útil}} = h_{\text{útil}} * C * L \quad \text{Equação 16}$$

Onde:

- $V_{\text{útil}}$: volume real que a unidade de floculação comporta;
- $h_{\text{útil}}$: altura real da água na câmara de floculação: 3,75 (m);
- C : comprimento total da unidade de floculação: 9 (m);
- L : largura total da câmara de floculação: 3 (m).

Assim, o volume útil total dos floculadores ($V_{\text{útil}}$) é de 101,25 (m³).

Próxima etapa é o tempo de detenção da água na unidade de floculação, utilizado a Equação 17.

$$T = \frac{V_{\text{útil}}}{Q_f * 60} \quad \text{Equação 17}$$

Onde:

- T : tempo de detenção;
- $V_{\text{útil}}$: volume real de água na unidade de floculação: 101,25 (m³);
- Q_f : vazão futura: 56 (l/s).

O tempo de detenção da água nas unidades de floculação é de 30,12 (min).

A partir de agora, foi utilizado a primeira câmara como exemplo dos cálculos seguintes. Assim, a potência dissipada no processo de floculação, que reflete o gasto energético

necessário para agitar a água de acordo com o gradiente de velocidade, pode ser calculada utilizando a Equação 18:

$$P_{dis} = G^2 * \mu * V_{util} \quad \text{Equação 18}$$

Onde:

- P_{dis} : potência dissipada no processo de floculação da primeira câmara;
- G : gradiente de velocidade da primeira câmara como demonstração: $70 \text{ (s}^{-1}\text{)}$;
- V_{util} : volume real que a primeira câmara de floculação comporta: $33,75 \text{ (m}^3\text{)}$.

A Equação 18 determinou a quantidade de potência necessária para gerar a agitação necessária em cada compartimento do floculador. Quanto maior o gradiente de velocidade, maior será a potência dissipada, nesse caso foi utilizado o gradiente de $70 \text{ (s}^{-1}\text{)}$ para a primeira câmara como exemplo e o valor de P_{dis} , sendo a potência dissipada no processo de rotação foi de $165,706 \text{ (W)}$.

A rotação de cada equipamento para a potência dissipada, pode ser calculada com a Equação 19:

$$N = \left(\frac{P_{dis}}{K * \rho * D^5} \right)^{\frac{1}{3}} * 60 \quad \text{Equação 19}$$

Onde:

- N : rotação do equipamento;
- P_{dis} : potência dissipada no processo de floculação, sendo: $165,706 \text{ (W)}$, nesse caso para a primeira câmara;
- K : constante relacionado a geometria do equipamento que pode ser determinada experimentalmente: $1,3 \text{ (De Paula, 2025)}$;
- D : diâmetro do rotor: $1,45 \text{ (m)}$.

Para a primeira câmara de floculação a rotação encontrada (N) é de $16,27 \text{ (rpm)}$.

A velocidade periférica mínima do rotor, sendo crucial para garantir a eficiência da agitação, é dada por:

$$v_{p \text{ mín.}} = \frac{N * \pi * D}{60} \quad \text{Equação 20}$$

Onde:

- $v_{p \text{ mín.}}$: velocidade periférica mínima do rotor;
- π : constante Pi: 3,14;
- D : diâmetro do rotor: 1,45 (m);
- N : rotação do equipamento, seguindo os cálculos da primeira câmara: 16,265 (rpm);

Assim a velocidade periférica mínima do rotor, para a primeira câmara ($v_{p \text{ mín.}}$) é de 1,23 (m/s).

Um breve resumo operacional das três câmaras que compõem a unidade de floculação para uma vazão futura de aproximadamente 56 (l/s), está disposto na Tabela 6.

Tabela 6 - Detalhes operacionais do floculador.

| CÂMARA | G(s⁻¹) | VOL(m³) | POT (W) | D (m): | n (rpm) | Vp (m/s) |
|---------------|--------------------------|---------------------------|----------------|---------------|----------------|-----------------|
| 1 | 70 | 33,75 | 165,71 | 1,45 | 16,27 | 1,23 |
| 2 | 45 | 33,75 | 68,48 | 1,45 | 12,12 | 0,92 |
| 3 | 20 | 33,75 | 13,53 | 1,45 | 7,06 | 0,54 |

Fonte: Autor (2024).

Na Equação 21, será verificado o tempo de limpeza e dimensão da tubulação de descarga do floculador.

$$S_{d. flo.} = \frac{\left(\frac{1}{2}\right) * A_{un. flo.} * H_{alt. flo.}^{0,5}}{4850 * t}$$

Onde:

$S_{d. flo.}$: área do tubo de descarga do floculador, sendo: 0,0102608 (m²) (catálogo do fabricante);

$A_{un. de flo.}$: área referente aos poços de lodo daquela tubulação de descarte: 27,03 (m²);

$H_{alt. flo.}$: altura do poço até a calha: 3,75 (m);

t : tempo de limpeza (h).

Assim, o tempo de limpeza em horas é 0,53, sendo transformado para minutos, isso é equivalente a 31,8 (min). A NBR 12216, não se fala nada sobre o tempo de descarga do floculador, apenas que o diâmetro deve ser superior a 150 (mm), no caso o diâmetro de descarga do floculador é de 114,3 (mm), segundo o catálogo do fabricante.

7.4 DECANTADOR

As unidades de decantação desempenham um papel fundamental no processo de tratamento de água, sendo projetadas para remover partículas suspensas por meio da sedimentação. Essas unidades podem ser classificadas como convencionais, tubulares, de alta taxa, entre outras, dependendo de sua configuração e eficiência operacional. A escolha e o dimensionamento do número de decantadores em uma Estação de Tratamento de Água (ETA) dependem de fatores técnicos, operacionais e econômicos, sendo regido pela NBR 12216.

No caso em questão, considerando a capacidade projetada de 4.839 (m³/dia), a NBR 12216 permite o uso de um único decantador. Entretanto, para assegurar flexibilidade operacional, maior segurança no processo e facilitar manutenções preventivas e corretivas, recomenda-se a instalação de duas unidades de decantação.

O processo de decantação começa quando a água floculada, proveniente do floculador, entra no decantador através de um difusor de alimentação. Este difusor é responsável por distribuir uniformemente o fluxo de água ao longo do tanque, evitando turbulências que possam comprometer a sedimentação.

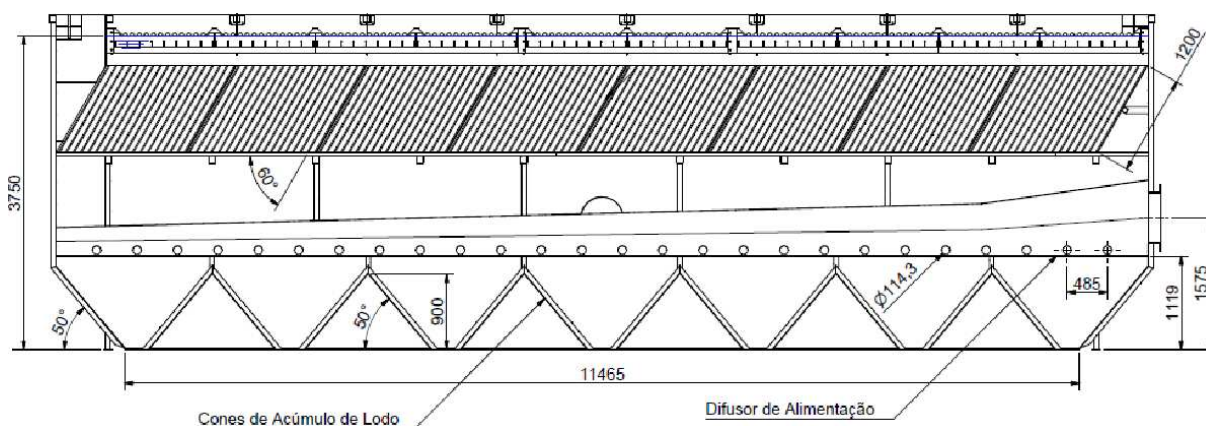
No interior do decantador, a água passa por módulos de decantação compostos por elementos octogonais em formato de colmeia, com comprimento de 1,2 (m) e angulação de 60° em relação à horizontal. Esses módulos, fabricados em PVC de alta resistência, aumentam significativamente a área de sedimentação, otimizando o processo e reduzindo o espaço necessário para a instalação da unidade. Após a sedimentação, a água clarificada é coletada em calhas equipadas com vertedores reguláveis.

O decantador também é projetado com um fundo em formato de pirâmide invertida, permitindo o descarte do lodo sem necessidade de interrupção operacional. Esse descarte é realizado de forma hidráulica, por meio de válvulas localizadas no fundo da estrutura das pirâmides invertidas.

Para garantir o desempenho ideal do sistema de decantação e sua compatibilidade com demandas futuras, alguns aspectos críticos devem ser cuidadosamente analisados. O gradiente de velocidade deve ser compatível com a preservação dos flocos formados no floculador, evitando sua ruptura. A velocidade de sedimentação deve ser verificada para garantir que atende aos padrões exigidos, considerando tanto a vazão atual quanto as projeções futuras. A capacidade das calhas de coleta de água decantada precisa ser proporcional à vazão operacional, enquanto o dimensionamento da tubulação de descarte de lodo deve ser adequado para suportar os volumes previstos, garantindo eficiência e segurança no processo de descarte.

Com o cumprimento dessas especificações e cuidados, o sistema de decantação se tornará uma solução preparada para atender às demandas operacionais atuais e futuras, contribuindo para a qualidade do tratamento de água e a sustentabilidade do processo. A Figura 9 mostra como é o decantador instalado na cidade de Nova Ponte e suas especificações.

Figura 9 – Corte ilustrativo da unidade de decantação.



Fonte: Catálogo do Fabricante (2025).

O volume diário é determinante para avaliar se um único decantador é suficiente. Assim, é calculado o volume pela Equação 22:

$$V_{diario} = Q_f * T \quad \text{Equação 22}$$

Onde:

V_{diario} : volume de água decantada por dia.

Q_f : vazão futura: 56 (l/s);

T: tempo em segundos de um dia: 86400 (s).

Assim, o volume diário é 4.839,93 (m³), verificou que um único decantador atende à demanda prevista.

Quando a água floculada chega do floculador, com os flocos já formados, ela entra na unidade de decantação. Nessa etapa, ela passa pelo difusor de alimentação, no qual é responsável por distribuir a água de maneira uniforme pelo decantador. Na entrada desse dispositivo, o gradiente de velocidade deve ser inferior ao último gradiente de velocidade aplicado no floculador, que era de 20 (s⁻¹). Esse parâmetro precisa ser calculado e determinado para garantir que os flocos não sejam desfeitos devido a um gradiente maior que na última unidade de floculação. Segue a Equação 23 para

conferir o gradiente de velocidade na entrada da unidade de decantação, considerando a vazão futura.

$$G_{dut. dist.} = \sqrt{\frac{32 * 1000 * \varphi * Q_f^3}{9,81 * 10^{-4} * \pi^3 * D_{int. entrada}^7}} \quad \text{Equação 23}$$

Onde:

$G_{dut. dist.}$: gradiente de velocidade na entrada da unidade de decantação;

φ : coeficiente de atrito: 0,03;

Q_f : vazão futura: 56 (l/s);

$D_{int. entrada}$: diâmetro interno da tubulação de entrada: 0,61 (m).

Assim, foi realizado os cálculos e encontrou um gradiente de 13,28 (s⁻¹), sendo menor que 20 (s⁻¹), assim o diâmetro da tubulação de entrada está adequado para a distribuição da água floculada.

O mesmo princípio mencionado anteriormente se aplica ao orifício de distribuição. O gradiente de velocidade no momento em que a água atravessa o orifício do sistema de distribuição deve ser inferior ao gradiente na entrada do decantador. Para verificar essa condição, foram realizados cálculos considerando a vazão futura.

$$G_{orif.} = \sqrt{\frac{32 * 1000 * \varphi * \left(\frac{Q_f}{52}\right)^3}{9,81 * 10^{-4} * \pi^3 * D_{orificios}^7}} \quad \text{Equação 24}$$

Onde:

$G_{orif.}$: gradiente de velocidade no orifício da tubulação de distribuição;

Q_f : vazão futura: 56 (l/s);

$D_{orificio}$: diâmetro interno do orifício: 0,114 (m).

Com isso obteve-se um resultado, no qual o gradiente de velocidade no orifício é de $12,55 \text{ (s}^{-1}\text{)}$, valor inferior ao gradiente de entrada da tubulação do decantador, sendo $13,28 \text{ (s}^{-1}\text{)}$. Esses valores confirmam a adequação do sistema, conforme demonstrado.

Seguindo a verificação do decantador, é necessário determinar a quantidade de lamelas existentes na unidade de decantação. Consultando o catálogo do fabricante, verificou-se que $6,25 \text{ (m}^2\text{)}$ de área, correspondem a 600 lamelas. Aplicando uma regra de três e considerando que o decantador possui uma área de $37,5 \text{ (m}^2\text{)}$, calcula-se a quantidade total de lamelas, conforme demonstrado na Equação 25.

$$6,25 * X = 37,5 * 600 \quad \text{Equação 25}$$

Onde:

X : quantidade total de lamelas na unidade de decantação;

$6,25$: área de cada módulo em $\text{(m}^2\text{)}$, onde são compostas as lamelas (catálogo do fabricante, 2025);

$37,5$: área total do decantador em $\text{(m}^2\text{)}$;

600 : quantidade de lamelas em cada módulo de $6,25 \text{ (m}^2\text{)}$.

Assim, o valor de X , sendo a quantidade existente de lamelas na unidade de decantação é de 3600 lamelas.

Para determinar a área real do decantador, considerando a inclinação de 60° , foram utilizadas as dimensões fornecidas pelo fabricante. Partiu-se do pressuposto de que as lamelas possuem formato retangular, uma suposição válida dado o design típico dessas estruturas.

A área real dos módulos do tanque de decantação foi calculada multiplicando a área de uma única lamela, sendo essa a dimensão fornecida pelo fabricante de área real, pela quantidade total de lamelas. Esse procedimento é detalhado na Equação 26.

$$A_{real} = A_{módulo} * X . \quad \text{Equação 26}$$

Onde:

A_{real} : área real total do decantador, sendo 39,143 (m²);

$A_{módulo}$: área real de cada lamela, sendo 0,010873 (m²);

X : quantidade total de lamelas na unidade decantadora, sendo 3600 lamelas.

Com base nos cálculos, a área real do decantador foi determinada no valor de 39,143 (m²).

A próxima etapa é calcular a velocidade média do fluido, para que na etapa seguinte, possa determinar a velocidade de sedimentação no decantador, considerando suas características, como comprimento, geometria, ângulo de inclinação e vazão. Assim a velocidade média do fluido é:

$$V_0 = \frac{Q_f}{A_{real \text{ dos módulos do tanque}}} \quad \text{Equação 27}$$

Onde:

V_0 : velocidade média do fluido;

Q_f : vazão futura: 56 (l/s);

A_{real} : área real total do decantador: 39,143 (m²).

Dessa forma, a velocidade média do fluido (V_0) foi determinada como $1,431 * 10^{-3}$ (m/s).

Em seguida é possível calcular a velocidade de sedimentação, pela Equação 28 (modelo de YAO):

$$V_{sc} = \frac{S_c * V_0}{\sin\theta + L * \cos\theta} \quad \text{Equação 28}$$

Onde:

V_{sc} : velocidade de sedimentação do menor floco que será integralmente removido no decantador;

S_c : constante, na qual é definida a partir do formato da lamela: 1 (De Paula,2025);

V_0 : é a velocidade média do fluido nos módulos de sedimentação: $1,431 \cdot 10^{-3}$ (m/s);

L : o comprimento relativo (adimensional), obtido da relação comprimento da lamela (dimensional) pela menor distância entre paredes opostas da lamela (dimensional);

Θ : ângulo de inclinação dos módulos de sedimentação (60°).

Utilizando o modelo de YAO, determina-se a velocidade V_{sc} de 1,061 (cm/min). Este valor de V_{sc} indica que flocos que sedimentarem com velocidades a partir de 1,061 cm/min serão integralmente removidos no decantador.

A eficiência desse processo é garantida pela otimização do design do decantador, que proporciona um fluxo controlado e permite que partículas maiores, como os flocos mencionados, tenham tempo suficiente para se depositarem. Além disso, a inclinação das lamelas aumenta a área de contato, facilitando a separação das partículas por gravidade e melhorando o desempenho geral da unidade de decantação. Esses fatores asseguram que o sistema opere dentro dos padrões de qualidade e eficiência esperados.

Abaixo está o cálculo do diâmetro hidráulico das lamelas, que será utilizado posteriormente para determinar o número de Reynolds, conforme Equação 29:

$$D_h = 4 * R_h \quad \text{Equação 29}$$

Onde:

D_h : diâmetro Hidráulico, sendo 0,1 (m);

R_h : raio Hidráulico, sendo 0,05 (m), (Catálogo do fabricante,2025).

Os valores do número de Reynolds, o número de Froude, são valores que não são citados em norma, porém alguns autores citam que existe uma faixa na qual são correlacionados para a eficiência do decantador.

Seguindo os cálculos, tem-se o número de Reynolds:

$$R_e = \frac{\rho * V_0 * D_h}{\mu} \quad \text{Equação 30}$$

Onde:

R_e : número de Reynolds: 139,067;

V_0 : velocidade média do fluido: $1,431 \cdot 10^{-3}$ (m/s);

D_h : diâmetro Hidráulico: 0,1 (m);

Pela Equação 31, tem-se o número de Froude:

$$Fr = \frac{2 * V_0^2}{R_h * g} \quad \text{Equação 31}$$

Onde:

Fr : número de Froude: $1,67 * 10^{-5}$;

V_0 : é a velocidade média do fluido: $1,431 \cdot 10^{-3}$ (m/s);

R_h : raio Hidráulico: 0,025 (m) (Catálogo do fabricante, 2025);

Por fim, vai ser calculado a taxa aparente, pela Equação 32:

$$T_{x\ ap.} = \frac{Q_f}{A_{real}} \quad \text{Equação 32}$$

Onde:

$T_{x\ ap.}$: taxa aparente, sendo 123,648 ($\frac{m^3}{m^2 * dia}$);

Q_f : vazão futura: 56 (l/s);

A_{real} : área real total do decantador: 39,143 (m²).

7.4.1 Calha de coleta de água decantada

Verificar se a vazão linear por metro de calha está adequada. De acordo com a NBR 12216, a vazão não deve ultrapassar 2,5 (l/s/m). Considerando que há duas calhas recebendo água decantada de ambos os lados, é possível determinar que a vazão segue a Equação 33:

$$Q_{calha} = \frac{\left(\frac{Q_f}{N}\right)}{B * C} \quad \text{Equação 33}$$

Onde:

Q_{calha} : vazão por calha;

Q_f : vazão futura: 56 (l/s);

N : número de calhas: 2 (un.);

B : quantidade de bordas por calha: 2 (bordas/calha);

C : comprimento da calha: 12,5 (m).

O valor encontrado de vazão nas calhas é de 1,12 (l/s/m), valor inferior ao limite estabelecido pela NBR 12216. Portanto, a vazão está dentro do recomendado.

7.4.2 Poço de lodo

Utilizando a Equação 34, foi verificado se o diâmetro da tubulação para o escoamento do lodo é suficiente para o volume a ser descarregado.

$$S_d = \frac{A_{poço} * H_{poço até a calha}^{0,5}}{4850 * t} \quad \text{Equação 34}$$

Onde:

S_d : área do tubo de descarga, sendo: 0,0102608 (m²) (catálogo do fabricante);

$A_{poço}$: área referente aos poços de lodo daquela tubulação de descarte: 5,36 (m²);

$H_{poço até a calha}$: altura do poço até a calha: 3,75 (m);

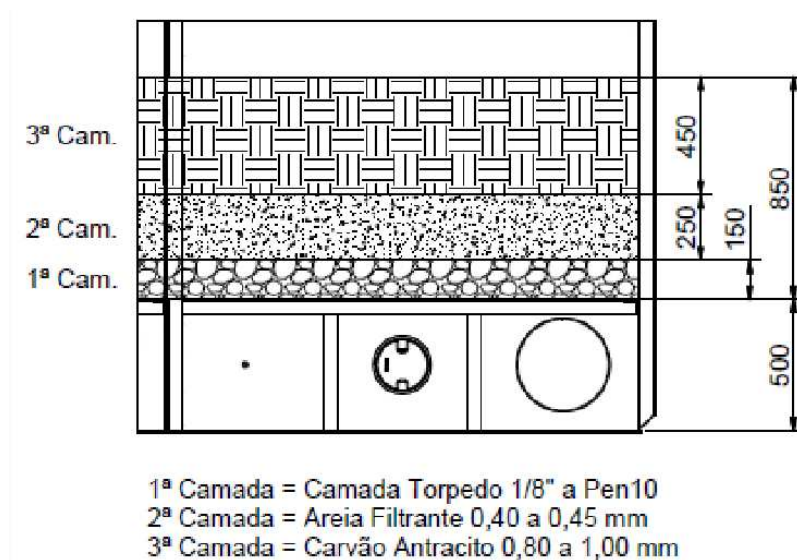
t : tempo de limpeza (h).

Assim, o tempo de limpeza encontrado foi de 0,21 (h), transformando em (min.), o valor é igual a 12,30 (min.), para realizar a limpeza de dois poços de lodo.

7.5 FILTRO

Para realizar os cálculos do filtro, é importante compreender que, nesta estação, está sendo utilizado um filtro de dupla camada, composto, de baixo para cima, pela primeira camada de cascalho, seguida pela de areia e, por fim, pela camada de antracito, conforme mostrado na Figura 10.

Figura 10 – Corte ilustrativo da unidade de filtração.



Fonte: Catálogo do Fabricante (2025).

Para avaliar a adequação do projeto, será calculada a taxa de filtração, que, segundo a NBR 12216 para filtros de camada dupla, deve estar entre 180 ($\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{dia}$) e 360 ($\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{dia}$). Utilizando a Equação 35 e considerando a vazão futura de 56 (l/s), assim:

$$T_x = \frac{Q_f * T}{C * L * N}$$
Equação 35

Onde:

T_x : taxa de filtração;

Q_f : vazão futura: 56 (l/s);

T : tempo referente a um dia: 86400 (s);

C : comprimento de uma unidade filtrante: 2,5 (m);

L : largura de uma unidade filtrante: 1,8 (m);

N : número de unidades filtrantes: 4 (un).

O valor obtido para a taxa de filtração foi de 268,8 (m³/m²·dia), inferior a 360 (m³/m²·dia), valor limite preconizado pela NBR 12216, para filtros de dupla camada filtrante.

A retrolavagem deve garantir a expansão do leito filtrante de 20% a 30%, assim foi realizado o cálculo para determinar a velocidade ascensional da água no leito filtrante, considerando as dimensões do filtro e a vazão de 205 (m³/h) da bomba de retrolavagem, componente da ETA adquirida, que será utilizada.

$$V = \frac{Q_B}{A}$$
Equação 36

Onde:

V : velocidade do fluxo ascedente da retrolavagem;

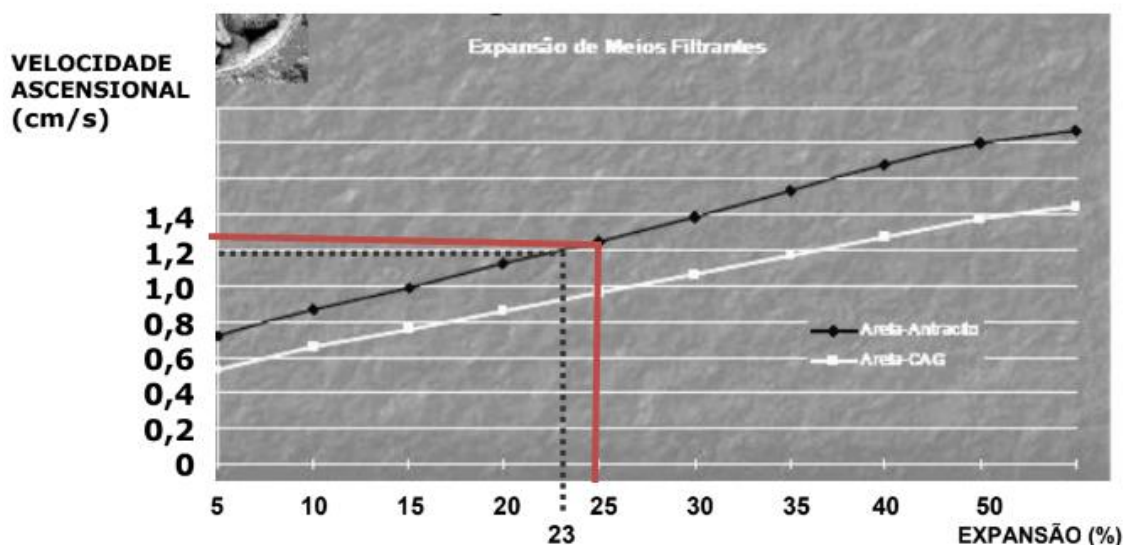
Q_B : vazão da bomba para retrolavagem: 205 (m³/h);

A : área de cada unidade filtrante: 4,5 (m²).

A velocidade ascensional é de 1,265 (cm/s). Assim, na Figura 11, é possível ver um gráfico no qual a interpolação do valor da velocidade ascensional, com a reta da característica do leito filtrante, se torna capaz de determinar a expansão do leito

filtrante, sendo de aproximadamente 25 %, estando dentro do parâmetro da NBR 12216.

Figura 11 - Gráfico da velocidade ascensional e a expansão do leito filtrante.



Autor: Material didático MSc. Iridalques Fernandes de Paula (2025).

7.6 DESINFECÇÃO, FLUORETAÇÃO E CORREÇÃO DO (pH)

Para determinar o tempo de contato mínimo para desinfecção, fluoretação e correção do pH em sistemas de tratamento de água, são utilizados parâmetros definidos na portaria GM/MS nº 888 do Ministério da Saúde, também disponibilizadas na bibliografia especializada.

Para promoção da desinfecção, será utilizado um tanque de contato cilíndrico, construído no local de instalação da ETA, com 6 (m) de diâmetro, altura interna de 5 (m), sendo 4,5 (m) a altura útil.

Para definir o tempo de contato, foi utilizada a tabela do anexo 3, da portaria GM/MS nº 888 do Ministério da Saúde, que estabelece o tempo de contato mínimo em função da concentração do residual de cloro livre na saída do tanque de contato, a temperatura de desinfecção e pH. Para este sistema de abastecimento de água, foram adotados: concentração de cloro na saída do tanque de contato igual a 0,5 (mg/L),

temperatura da água de 20 (°C) e pH de desinfecção igual a 7, determinando-se um tempo de contato de 34 (min).

Tabela 7 - Valores do tempo de detenção da água no tanque de contato.

| C(1) | Temperatura (20°C) | | | | | | | | Temperatura (25°C) | | | | | | | | Temperatura (30°C) | | | | | | | |
|------|---------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---------------------|-----|-----|-----|-----|--|--|--|
| | Valores de pH | | | | | | | | Valores de pH | | | | | | | | Valores de pH | | | | | | | |
| | 6,0 | 6,5 | 7,0 | 7,5 | 8,0 | 8,5 | 9,0 | 6,0 | 6,5 | 7,0 | 7,5 | 8,0 | 8,5 | 9,0 | 6,0 | 6,5 | 7,0 | 7,5 | 8,0 | 8,5 | 9,0 | | | |
| 0,1 | 88 | 109 | 133 | 160 | 190 | 224 | 261 | 62 | 77 | 94 | 113 | 134 | 158 | 185 | 44 | 54 | 66 | 80 | 95 | 112 | 130 | | | |
| 0,2 | 49 | 60 | 74 | 89 | 105 | 124 | 145 | 34 | 43 | 52 | 63 | 75 | 88 | 102 | 24 | 30 | 37 | 44 | 53 | 62 | 72 | | | |
| 0,3 | 34 | 43 | 52 | 63 | 75 | 88 | 103 | 24 | 30 | 37 | 44 | 53 | 62 | 73 | 17 | 21 | 26 | 31 | 37 | 44 | 51 | | | |
| 0,4 | 27 | 33 | 41 | 49 | 59 | 69 | 80 | 19 | 24 | 29 | 35 | 41 | 49 | 57 | 13 | 17 | 20 | 25 | 29 | 34 | 40 | | | |
| 0,5 | 22 | 28 | 34 | 41 | 48 | 57 | 66 | 16 | 20 | 24 | 29 | 34 | 40 | 47 | 11 | 14 | 17 | 20 | 24 | 28 | 33 | | | |
| 0,6 | 19 | 24 | 29 | 35 | 41 | 49 | 57 | 14 | 17 | 20 | 25 | 29 | 35 | 40 | 10 | 12 | 14 | 17 | 21 | 24 | 28 | | | |
| 0,7 | 17 | 21 | 25 | 31 | 36 | 43 | 50 | 12 | 15 | 18 | 22 | 26 | 30 | 35 | 8 | 10 | 13 | 15 | 18 | 21 | 25 | | | |
| 0,8 | 15 | 19 | 23 | 27 | 32 | 38 | 45 | 11 | 13 | 16 | 19 | 23 | 27 | 32 | 7 | 9 | 11 | 14 | 16 | 19 | 22 | | | |

Fonte: Ministério da saúde (2021).

O primeiro passo é calcular o volume útil do tanque de contato, pela Equação 37:

$$V_{\text{útil}} = \pi * r^2 * h_{\text{útil}} \quad \text{Equação 37}$$

Onde:

$V_{\text{útil}}$: volume útil da água no tanque de contato;

r : raio interno do tanque de contato: 3 (m);

$h_{\text{útil}}$: altura determinada em projeto: 4,5 (m).

Assim, o volume útil encontrado ($V_{\text{útil}}$) é de 127,17 (m³).

Assim, considerando o volume útil do tanque e a vazão futura, é possível calcular o tempo de detenção para verificar-se está adequado, conforme equação 38:

$$T = \frac{V_{\text{útil}}}{Q_f} \quad \text{Equação 38}$$

Onde:

T: tempo de detenção da água no tanque de contato;

$V_{\text{útil}}$: volume de água até chegar na altura limine: 127,23 (m³);

Q_f : vazão futura: 56 (l/s).

O tempo de detenção, considerando a vazão futura, sem modificar o volume útil do tanque de contato é de 37,84 (min), porém segundo a portaria do ministério da saúde de 2021, fala que para esse tipo de cenário citado anteriormente, 34 (min) é suficiente. Assim, percebe-se que, o tanque de contato suporta vazão maiores que a projetada para 2050.

8 RESULTADO E DISCUSSÃO

8.1 MISTURA RÁPIDA

O tempo de mistura obtido, de 0,44 (s), encontra-se significativamente abaixo do limite de 5 (s) estabelecido pela NBR 12216. Esse resultado indica que a dispersão do coagulante ocorre de maneira rápida e homogênea, contribuindo para a otimização do processo de coagulação.

O gradiente de velocidade calculado, de 1217 (s⁻¹), está acima da faixa recomendada pela NBR 12216 (700 s⁻¹ a 1100 s⁻¹), porém sugere melhoria nas condições de mistura por ser diretamente proporcional à energia dissipada e não acarreta aumento de custos operacionais por tratar-se de misturador hidráulico. Caso o sistema fosse mecanizado, um gradiente de velocidade mais elevado que o limite superior estabelecido pela NBR 12216, poderia resultar em aumento de custos operacionais com energia elétrica.

A Figura 12 apresenta a calha Parshall da ETA, onde é possível observar a tubulação na qual é aplicado o coagulante. Para aplicação da solução do coagulante, a NBR 12216 recomenda a utilização de jatos com espaçamento de no máximo 10 cm para garantir uma dispersão eficiente. Observando a Figura 12, percebe-se 2 canalizações para aplicação do coagulante distanciadas de $1/3$ da dimensão D (40,3 cm) da calha Parshall, resultando a distância de 13,4 cm entre os jatos. Apesar disso, a turbulência gerada na calha Parshall, definida pelo gradiente de velocidade, demonstra ser suficiente para promover a diluição adequada do coagulante, garantindo a eficiência do processo.

Figura 12 - Calha Parshall.



Fonte: Autor (2025).

8.2 FLOCULADORES

Os floculadores da ETA funcionarão com gradientes de velocidade decrescentes de $70 \text{ (s}^{-1}\text{)}$ na primeira câmara, $45 \text{ (s}^{-1}\text{)}$ na segunda câmara e $20 \text{ (s}^{-1}\text{)}$ na terceira câmara, disposição de compartimentos que permite uma redução progressiva da turbulência, favorecendo o crescimento dos flocos. A NBR 12216, que estabelece um limite máximo de gradiente de velocidade de $70 \text{ (s}^{-1}\text{)}$ no primeiro compartimento (evita a ruptura dos flocos formados) e um mínimo de $10 \text{ (s}^{-1}\text{)}$ no último compartimento (evita a sedimentação de flocos). O inversor de frequência permite alterar a rotação do agitador, alterando o gradiente de velocidade adotado para dimensionamento da câmara, caso o gradiente de velocidade alterado produza flocos mais consistentes.

Por isso, a NBR 12216 recomenda a adoção de um dispositivo que possibilite a variação da rotação em pelo menos 20% a mais ou a menos do valor calculado a partir do gradiente de velocidade adotado para a câmara. No presente projeto, essa exigência foi atendida por meio da instalação de um inversor de frequência, o que proporciona maior controle operacional e flexibilidade na adaptação às variações nas condições da água afluente. Esse recurso permite que o sistema opere com maior eficiência, otimizando o processo de floculação ao longo do tempo.

A configuração dos tanques de floculação mecanizados segue a recomendação de subdivisão em pelo menos três compartimentos em série, separados por cortinas ou paredes, com aberturas estrategicamente posicionadas para minimizar a ocorrência de curto-circuito hidráulico. A NBR 12216 não especifica a posição exata das aberturas, apenas orienta que sejam dispostas de forma a evitar a passagem direta da água de um compartimento para outro. Durante a inspeção em campo, verificou-se que as aberturas foram posicionadas de maneira estratégica, sendo dispostas na diagonal, assegurando um fluxo controlado entre os compartimentos, garantindo que o tempo de detenção real seja mais próximo do tempo de detenção teoricamente calculado, diminuindo também a possibilidade de ocorrência de zonas mortas, favorecendo o processo de floculação.

O tempo de detenção calculado, de 30,12 (min), encontra-se dentro da faixa recomendada de 30 a 40 (min) para sistemas mecanizados, garantindo tempo suficiente para a formação de flocos sedimentáveis. Esse tempo de detenção adequado, aliado à configuração eficiente do sistema, assegura que os flocos alcancem o tamanho ideal para a remoção na etapa de decantação. Além disso, o volume total de 101,25 (m³), distribuído entre as três câmaras, demonstra que as dimensões do floculador atendem à demanda atual e futura, conferindo confiabilidade operacional ao sistema. A Figura 13 demonstra a compartimentação da unidade de floculação, evidenciando a disposição em série dos compartimentos, além de tornar visível a parte mecânica do sistema.

Figura 13 - Floculador mecanizado.



Fonte: Autor (2025)

8.3 DECANTADOR

A unidade de decantação foi projetada para operar com uma capacidade de 4.839 (m^3/dia), em conformidade com os requisitos estabelecidos pela NBR 12216, que permite a utilização de um único decantador para estações cuja vazão seja inferior a 10.000 (m^3/dia), desde que o tempo de funcionamento não ultrapasse 18 horas diárias e que o sistema não seja mecanizado. No entanto, conforme indicado por Di Bernardo (2012), a adoção de duas unidades de decantação representa uma solução mais robusta do ponto de vista operacional, uma vez que permite a continuidade do tratamento de água durante eventuais manutenções, evitando a interrupção do processo.

A avaliação hidráulica demonstrou que o gradiente de velocidade na entrada do decantador foi de 13,28 (s^{-1}), enquanto no orifício da tubulação de distribuição esse valor foi de 12,55 (s^{-1}). Ambos os parâmetros estão dentro das faixas recomendadas,

assegurando uma transição hidráulica adequada e preservando a integridade dos flocos formados na etapa de floculação. Além disso, observou-se que a distribuição do fluxo dentro do decantador ocorre de maneira uniforme, sendo essencial para a eficiência do processo

A eficiência da sedimentação foi avaliada por meio da velocidade de sedimentação dos flocos, utilizando o modelo de YAO, que estabelece a velocidade de sedimentação da partícula floculenta crítica (velocidade de sedimentação do menor floco que será integralmente removido no decantador), das características geométricas dos módulos de sedimentação, da velocidade ascensional da água nos módulos de sedimentação e do ângulo de inclinação dos módulos. A velocidade de sedimentação da partícula floculenta crítica foi calculada e foi de 1,061 (cm/min). Como referência, a velocidade de sedimentação de flocos formados utilizando compostos de alumínio, produzidos nos floculadores situa-se entre 1 (cm/min) e 4 (cm/min). Assim, espera-se a remoção integral, no decantador, de flocos que sedimentam com a velocidade de 1,061 (cm/min) e dos flocos que sedimentam com velocidades superiores, sugerindo elevada eficiência do decantador na remoção de turbidez. Dessa forma, a carga de flocos afluentes aos filtros será baixa, podendo-se esperar carreiras de filtração mais longas, minimizando o volume de água descartado na lavagem dos filtros.

A análise de parâmetros hidráulicos, como os números de Reynolds e Froude, além da taxa de aplicação aparente, indicou conformidade com as faixas recomendadas para esse tipo de operação. O número de Reynolds calculado foi de 139, o que caracteriza um regime de escoamento predominantemente laminar nos módulos de sedimentação, condição essencial para a eficiência do processo, uma vez que valores inferiores a 250 são recomendados. O número de Froude obtido foi de $1,67 \times 10^{-5}$, valor que supera o limite mínimo de 10^{-5} , garantindo estabilidade hidráulica e minimizando turbulências que poderiam comprometer a deposição dos flocos. Adicionalmente, a taxa de aplicação aparente foi determinada como 123 ($\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{dia})$), dentro do intervalo recomendado de 60 a 180 ($\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{dia})$) (De Paula, 2025). Dessa forma, os resultados obtidos demonstram que a unidade de decantação opera dentro dos parâmetros recomendados, assegurando a eficiência do processo.

O sistema de coleta da água decantada utiliza calhas de coleta com bordas constituídas de vertedores triangulares de 90° de altura ajustável, para que a vazão coletada em cada metro linear de borda seja constante. Os cálculos efetuados mostram a vazão de 1,12 (l/s/m), valor que se mantém dentro do limite estabelecido pela NBR 12216, de 2,5 (l/s/m).

No que diz respeito à remoção do lodo acumulado, a inclinação do fundo do decantador foi projetada em 50°, em conformidade com a NBR 12216, permitindo o deslocamento eficiente do lodo em direção ao ponto de descarga e evitando acúmulos indesejáveis que poderiam comprometer a operação do sistema. Entretanto, verificou-se que o diâmetro da tubulação de remoção de lodo, no valor de 114,3 (mm), não atende ao requisito mínimo estabelecido pela NBR 12216, que determina um diâmetro de pelo menos 150 (mm) para essa aplicação. Contudo, considerando que há uma tubulação de descarga para cada dois poços de lodo e que a distância até o ponto de descarte é inferior a 10 (m), a adoção de tubulação com diâmetro de 100 (mm) é viável, como foi comprovado por meio dos cálculos.

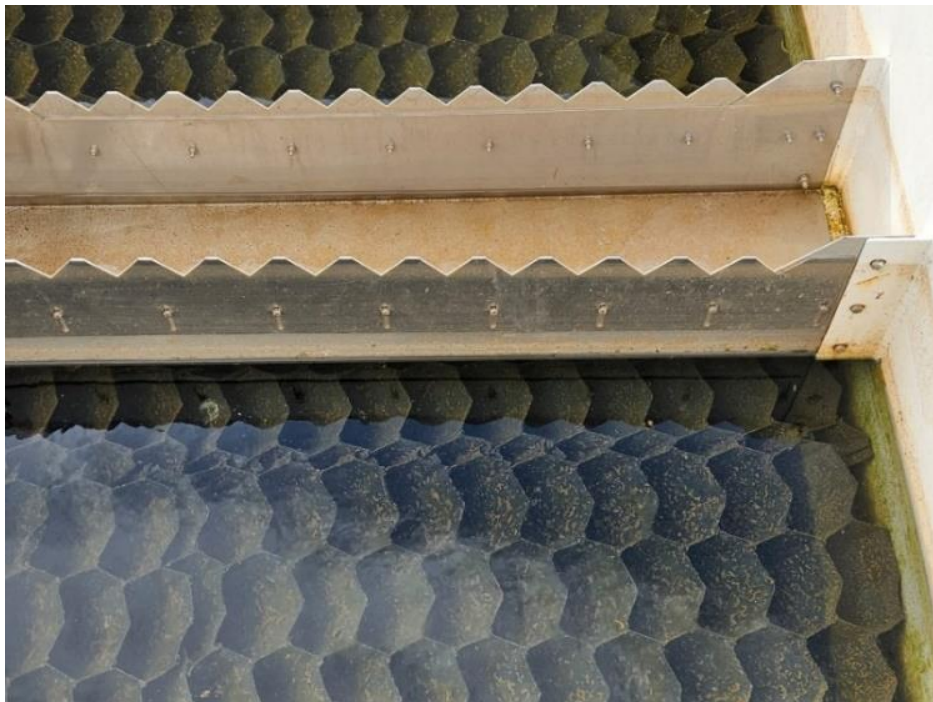
Na Figura 14, apresenta-se uma vista superior do decantador de alta taxa, destacando os módulos de decantação e a calha responsável por receber a água decantada. Já na Figura 15, o foco está na calha, evidenciando o sistema de regulação por meio de parafusos fixados em sua lateral. Por fim, a Figura 16 ilustra as tubulações de descarte do lodo, que direcionam os resíduos do decantador para uma trincheira lateral.

Figura 14 - Unidade de decantação de alta taxa.



Fonte: Autor (2025).

Figura 15- Calha em inox ajustável.



Fonte: Autor (2025).

Figura 16 - Sistema de descarte do lodo da unidade de decantação.



Fonte: Autor (2025).

8.4 FILTRO

A camada filtrante dupla é composta por camadas sobrepostas de areia e antracito, com espessuras e características granulométricas definidas por ensaios ou especificadas na NBR 12216. Neste estudo, os dados fornecidos pela norma foram utilizados como referência para o projeto da camada dupla e da camada suporte.

A taxa de filtração encontrada foi de 268,8 ($\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{dia}$), estando dentro dos limites estabelecidos pela NBR 12216, que define a taxa máxima, para filtros de dupla camada, de 360 ($\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{dia}$). Isso indica que o sistema opera de forma eficiente.

Em relação a limpeza do filtro, a velocidade ascensional calculada foi de 1,265 (cm/s), um valor adequado para garantir a expansão do leito filtrante em 25%, conforme esperado. A vazão de água de lavagem em contracorrente deve promover uma expansão entre 20% e 30%, o que está alinhado com os resultados obtidos.

Além disso, a água de lavagem deve ser armazenada em um reservatório com capacidade mínima para a lavagem de dois filtros, exceto quando o sistema utilizar efluente de outras unidades. No caso em questão, utiliza-se o tanque de contato, que possui um volume de 127,17 (m³) de água, permitindo a lavagem de mais de dois filtros e garantindo segurança operacional ao sistema.

Figura 17 - Unidade do filtro.



Fonte: Autor (2025).

8.5 Desinfecção, Fluoretação e correção do (pH)

A determinação do tempo mínimo de contato para desinfecção, fluoretação e correção do pH em sistemas de abastecimento de água deve seguir as diretrizes estabelecidas pelo Ministério da Saúde, conforme a Portaria GM/MS nº 888/2021. Esta Portaria estabelece padrões de qualidade para a água potável, incluindo a concentração mínima de cloro residual livre e o tempo necessário para uma desinfecção eficaz.

No caso em questão, a concentração de cloro na saída do tratamento foi ajustada para 0,5 (mg/l), garantindo que, ao longo da rede de distribuição, a concentração não seja inferior ao limite mínimo de 0,2 (mg/l), conforme a legislação. O pH foi considerado igual a 7,0 e a temperatura de 20 °C, considerações para a região de Nova Ponte - MG.

A partir das medidas in loco, determinou-se que o tempo de detenção no tanque de contato é de 37,84 (min), superior ao mínimo de 34 (min) recomendado pela Portaria GM/MS nº 888/2021, o que confirma a capacidade do sistema de operar adequadamente até o ano de 2050, sem necessidade de ampliação da infraestrutura.

Adicionalmente, a fluoretação da água, conforme a mesma portaria, é recomendada com concentrações de flúor entre 0,6 (mg/l) e 0,8 (mg/l), visando à prevenção de cáries dentárias. A fluoretação é uma medida de saúde pública comprovadamente eficaz na redução da incidência de cáries, sem riscos de fluorose quando dentro dos parâmetros estabelecidos. Na Figura 18 é possível ver o tanque de contato.

Figura 18 – Tanque de contato.



Fonte: Autor (2025).

Portanto, o sistema de abastecimento está em conformidade com as exigências normativas e regulatórias, garantindo a distribuição de água potável de qualidade para a população.

9 CONCLUSÃO

A implantação da nova Estação de Tratamento de Água (ETA) em Nova Ponte - MG representa um avanço significativo para a melhoria da qualidade da água e para o atendimento das necessidades de abastecimento da população local nos próximos 25 anos. A análise detalhada dos processos de coagulação, floculação, decantação, filtração, desinfecção, fluoretação e correção de pH, estudados neste trabalho, assegura que a ETA tem concepção e dimensões que atendem aos critérios de dimensionamento estabelecidos pela NBR 12216 e pela bibliografia especializada, estando apta a produzir água tratada de padrão estabelecido pela Portaria GM/MS nº 888/2021 do Ministério da Saúde, garantindo a oferta de água potável de qualidade e segura para consumo.

Em síntese, a nova ETA em Nova Ponte - MG está preparada para fornecer um abastecimento de água adequado e seguro para a população, agora e no futuro. A estação foi projetada para atender aos padrões de qualidade exigidos pela legislação vigente, promovendo a saúde pública e a qualidade de vida dos habitantes da cidade. Este projeto representa um marco para o desenvolvimento sustentável da infraestrutura de saneamento básico em Nova Ponte, contribuindo diretamente para a melhoria das condições de vida da comunidade.

10 REFERÊNCIAS

AEGEA. **Cada gota que tratamos carrega parte do futuro**, 2018. Disponível em: <http://www.aegea.com.br/>. Acesso em: 02 abr. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12216: Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público**. Rio de Janeiro, 1992.

BRASIL. Ministério das Cidades. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2022**. Brasília: MCid, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis>. Acesso em: 23 abr. 2025.

DI BERNARDO, L.; PAZ, L. P. S. **Seleção de tecnologias de tratamento de água**. LDiBe. São Carlos, 2010.

DI BERNARDO, Luiz. **Métodos e técnicas de tratamento de água**, v. 01. Editora Rima, São Paulo. 2ª edição, 2005.

DI BERNARDO, Luiz; MATSUMOTO, TSUNAO. **Estudos comparativos entre filtros de fluxo ascendente e descendente com meio filtrante de areia utilizando água decantada como afluente**. *Revista DAE*, São Paulo, n. 157, p. 20–26, 1989.

GOOGLE. Google Earth Pro. Mountain View, CA: Google Inc., 2025. Disponível em: <https://earth.google.com>. Acesso em: 18 maio 2025.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento da água**. Editora Átomo, São Paulo. 3ª edição, 2010.

NOVA PONTE. **Plano Municipal de Saneamento Básico: PMSB**. Nova Ponte: Prefeitura Municipal de Nova Ponte, 2015. Disponível em: <https://infosanbas.org.br/municipio/nova-ponte-mg/>. Acesso em: 23 març. 2025.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021**. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 7 maio 2021. Disponível em: <https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2021>. Acesso em: 02 abr. 2025.

PAULA, Iridalques Fernandes de. **Material didático – Dimensionamento de filtros rápidos por gravidade**. Uberlândia – MG, 2025.

PAULA, Iridalques Fernandes de. **Material didático – Dimensionamento do decantador de alta taxa**. Uberlândia – MG, 2025.

PAULA, Iridalques Fernandes de. **Material didático – Utilização do vertedor Parshall**. Uberlândia – MG, 2025.

RICHTER, C. A. **Água: Métodos e Tecnologia de Tratamento**. São Paulo: Edgard Blucher, 2009.

RICHTER, C. A.; AZEVEDO NETO, J. M. **Tratamento de água: tecnologia atualizada**. 1. ed. São Paulo: Blucher, 1991. ISBN 9788521200536.

SAVEWATER. **Catálogo do fabricante**. Capinzal, 2023. Disponível em: <https://materiais.savewater.com.br/catalogo-tratamento-de-agua>. Acesso em: 02 abr. 2025.

SECKLER, Sidney. **Concepção, projeto e operação de estações de tratamento**. 1. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2017. 472 p. ISBN 978-85-352-8740-0.

VIANNA, M. R. **Hidráulica Aplicada às Estações de Tratamento de Água**. 4ª ed. Belo Horizonte: Imprimatur Artes, 2002.