

Fernandes, L. F.

Graduando, Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil

Sousa, A. C.²

Professor M., Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil

¹ luzfernandes.eng@gmail.com; ² anselmo.puc@gmail.com

RESUMO: A água é uma fonte potencial para transmissão de doenças dessa maneira antes do consumo humano a água deve ser submetida a processos de tratamento adequados visando a remoção de poluentes e agentes contaminantes da água. Por se tratar de um processo satisfatoriamente completo e eficiente de tratamento de água o mais utilizado no Brasil é o de ciclo completo ou tratamento convencional. Este trabalho teve como objetivo projetar e executar uma estação de tratamento de água em escala piloto abordando seus aspectos operacionais e seu dimensionamento, para isso foi utilizada consultas bibliográficas e experimentação prática visando obter um produto final que representa o mais próximo possível de uma estação de tratamento de água com processo convencional. A estação foi executada em acrílico e vidro e apresentou eficiência adequada.

Palavras-chaves: Tratamento de Água, Projeto Piloto, Água.

Área de Concentração: 04 – Engenharia Hidráulica

1 INTRODUÇÃO

Cerca de 80% das doenças que se proliferam nos países subdesenvolvidos são causadas pela má qualidade da água disponível (Richter e Netto, 2011), entre essas doenças estão: Febre tifóide, Febres paratífóides, Disenteria bacilar, Disenteria amebiana, Cólera, Diarréia, Hepatite Infecciosa e Giardíase. Além dessas, mais de 40 outras doenças podem ser transmitidas direto ou indiretamente pela água, seja por falta de higiene ou contato com água poluída ou ainda devido à presença de organismos transmissores que vivem em meio aquático (HELLER; PÁDUA, 2010).

As pessoas mais afetadas por doenças relacionadas à falta de saneamento são de populações carentes, por isso, é de suma importância que antes de disponibilizar água para o consumo humano, esta seja submetida ao adequado processo de tratamento visando atender aos padrões de potabilidade estabelecidos pelo Ministério da Saúde e assim garantir a saúde e o bem-estar social de toda a população.

No que se refere ao tratamento de água, uma das decisões mais importantes a ser tomada é a escolha do manancial que fornecerá água ao sistema de abastecimento e o tipo de tratamento que essa água será submetida. Para tanto, é fundamental avaliar todas as possíveis fontes de água, tanto superficiais quanto subterrâneas, visando obter a fonte que requeira o menor esforço para o tratamento. Desta forma, o profissional responsável pelo projeto de sistemas de abastecimento de água deve estudar as técnicas existentes de tratamento e aplicar aquela que, com maior eficiência, possa fornecer água de qualidade pelo menor custo e com o menor impacto ecológico.

No Brasil, os principais processos de tratamento de água incluem as seguintes etapas: remoção de sólidos finos e grosseiros, por meio de grades e desarenador; remoção de impurezas dissolvidas na água, através de processos químicos (coagulação e floculação) e físicos (decantação e filtração), remoção de microrganismos ou desinfecção e, quando necessário, correção do pH.

Normalmente, em uma Estação de Tratamento de Água (ETA) há a combinação de diferentes processos de tratamento, os quais são estabelecidos em função das características da água bruta. Na maioria das ETAs no Brasil predomina a de ciclo completo, ou ETA Convencional, a qual agrega os principais processos de tratamento: coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção. No entanto, existem Estações de Tratamento mais simplificadas, onde são utilizados os processos de filtração e desinfecção (ETA simplificada), ou apenas a desinfecção, bem como estações de tratamento mais avançada, por exemplo com o emprego de membrana filtrante.

Quando da concepção do projeto de uma ETA pode-se, previamente, reproduzir sua construção em escala piloto de modo que ela corresponda ao funcionamento da unidade de tratamento real, gerando dados sobre eficiência da estrutura e ponto ótimo de operação. Dessa forma, é possível prever qualquer inconsistência de projeto e modificar, antes da execução. Além disso, essas estações em escala piloto podem ser utilizadas para auxiliar os processos educativos e de formação acadêmica, no que se refere a reprodução do processo de tratamento em ambientes de ensino.

Nesse trabalho teve como objetivo projetar e executar uma Estação de Tratamento Convencional em escala piloto, permitindo assim que esta unidade seja utilizada em atividades didática, principalmente nas disciplinas acadêmicas dos cursos de engenharia relacionadas a hidráulica ou tratamento de água. O uso dessa ferramenta facilitará a compreensão e visualização do funcionamento de uma estação de tratamento de água em escala real, bem como permitirá o desenvolvimento de pesquisas futuras sobre as melhores condições operacionais, testes de diferentes coagulantes e materiais para serem utilizados em filtros rápidos.

Esperava-se que com a execução do trabalho se obtivesse uma ETA semelhante à mostrada na figura 2, a qual foi desenvolvida pela Companhia de Saneamento do Estado do Paraná (Sanepar) e foi apresentada durante a Feira Nacional de Saneamento (FENASAN) em 2017.

Figura 1 – ETA em Escala Piloto



Fonte: Sanepar (2017).

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Qualidade de Água para consumo humano

O Ministério da Saúde define água potável como aquela apropriada “para o consumo humano e que os parâmetros microbiológicos, físicos, químicos e radioativos atendem aos padrões estabelecidos na Portaria de Consolidação nº 05/2017, Anexo XX, e que não ofereça riscos à saúde humana (BRASIL, 2017). Em razão do uso indiscriminado dos recursos naturais e contaminação excessiva dos mananciais, tem se tornado cada vez mais difícil encontrar pontos de captação que ofereçam água de qualidade suficiente para atender tais requisitos, portanto, é preciso que, previamente ao consumo, a água seja submetida ao processo de tratamento adequado.

Por sua vez, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), o órgão que estabelece normas sobre a qualidade e o uso dos recursos naturais, entre eles a água, estabeleceu por meio da Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005) padrões de qualidade para a água entrada na natureza, ou seja, água bruta. Os padrões de qualidade são definidos em função da classificação dos corpos hídricos de água doce conforme os usos preponderantes da água. Tal norma classificou os corpos hídricos de água doce em cinco classes, como mostra a Tabela 1.

Tabela 1 – Classificação dos corpos hídricos de água doce e tratamento a ser aplicado para consumo humano.

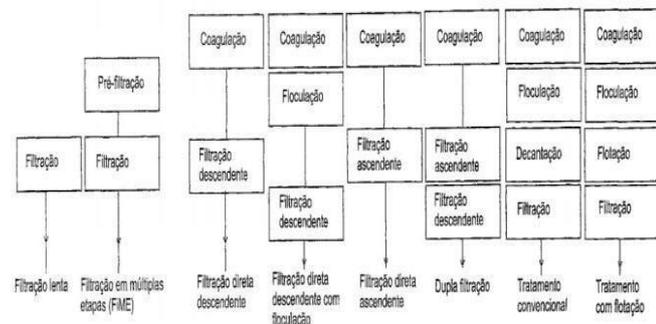
Classe do corpo hídrico	Tratamento
Especial	Simple desinfecção
Classe 1	Simplificado
Classe 2	Convencional
Classe 3	Convencional ou Avançado
Classe 4	Impróprio

Fonte: Resolução Conama 357 (2005).

Nota-se que para cada uma das Classes é recomendado um tipo de tratamento para consumo humano, sendo que a medida que reduz a qualidade da água há aumento da complexidade do tratamento a ser aplicado, sendo que em razão de péssima qualidade as águas de Classe 4 não são apropriadas para consumo humano, mesmo que submetida a tratamento. Atualmente no Estado de Goiás todos os corpos hídricos superficiais são considerados de Classe 2, portanto aplica-se o tratamento convencional, objeto dessa pesquisa.

Na Figura 2 são apresentadas as diversas técnicas de tratamento de água aplicados em Estações de Tratamento de Água no Brasil. Além das técnicas apresentadas na Figura 2, toda água destinada ao consumo humano é submetida previamente a desinfecção, a qual é realizada na maioria das cidades por meio da adição de cloro. O processo mais simples de tratamento de água é a filtração, a qual requer que a água tenha ótima qualidade. A medida que se reduz a qualidade da água bruta há necessidade de técnicas mais complexas para remoção das impurezas presentes na água.

Figura 2 – Técnicas usuais de tratamento de água para consumo humano



Fonte: Heller e Pádua (2010).

O tratamento convencional é o mais utilizado no Brasil e consiste no conjunto das seguintes técnicas: coagulação, Flotação, Decantação e Filtração.

2.2 Tratamento Convencional

Por se tratar de um processo de tratamento de água satisfatoriamente completo e eficiente o mais utilizado no Brasil é o de ciclo completo ou tratamento convencional. De acordo com resultados de pesquisa realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE - (2008) em todo território nacional, 5564 municípios possuem tratamento de água, dos quais 2824 (50,75%) utilizam tratamento convencional. Tal pesquisa aponta que no estado de Goiás 60,97% dos

246 municípios utilizam esse processo para tratamento de água fornecida para as populações urbanas

O tratamento convencional de água é dividido em 6 etapas principais, a saber: Coagulação, Floculação, Decantação, Filtração, Cloração e Fluoração, das quais, as quatro primeiras etapas têm por função aglomerar e retirar as partículas sólidas dissolvidas na água, enquanto que as duas últimas têm por finalidade a desinfecção da água visando atingir os padrões de potabilidade estabelecidos pelo ministério da saúde.

Dentre as etapas do tratamento convencional a primeira é a fase de coagulação ou mistura rápida, esse processo é utilizado visando corrigir cor, turbidez, sabor e odor da água, removendo partículas sólidas suspensas. A coagulação se dá pela adição de um coagulante na água, o que provoca a redução das forças repulsivas entre as partículas de sujeira, permitindo assim sua aglomeração, o que facilita a remoção dessas nas etapas seguintes. Segundo Heller e Pádua (2010) entre os coagulantes usualmente utilizados estão o sulfato de alumínio, cloreto férrico, sulfato ferroso clorado, sulfato férrico e hidróxicloreto de alumínio.

Após a aplicação do coagulante na água, ocorre a mistura da solução por meio de uma calha parshall, por um agitador do tipo turbina ou pelo fluxo alternado da água em câmaras de floculação.

As reações químicas que começam na etapa de mistura rápida podem ter sequência no floclador, de forma que as impurezas suspensas na água tenham tempo e energia suficiente para se colidir e se aglomerar formando flocos de sujeira. Em um floclador do tipo chincana, a perda de carga se dá devido a mudança de direção na vertical sendo que hora o fluido sobe e hora ele desce, ao estrangulamento que há entre as câmaras de passagem e ao atrito entre a água e as paredes do floclador.

Nas ETAs convencionais, onde existe alta taxa de sólidos suspensos, se faz necessário a construção de Decantadores, que são estruturas de grande volume onde os flocos de sujeira, já aglomerados, têm tempo suficiente para se separar do líquido e, por meio da energia gravitacional, atingir o fundo do recipiente podendo ser removida com facilidade (HELLER E PÁDUA, 2010). Dessa forma a quantidade de sujeira que deve ser retirada nos filtros rápidos é menor e aumenta o tempo entre as limpezas destes.

O filtro rápido é a última etapa relativa à separação de sólidos da água, nessa etapa a filtração se dá resultante da ação de três mecanismos: transporte, aderência e desprendimento. Dessa forma, ao ser conduzida por um meio poroso, as partículas de sujeira aderem-se ao filtro por meio de forças de atrito, quando as partículas se aderem entre as partículas de areia do filtro elas reduzem a área disponível e isso aumenta as forças

cisalhantes que fazem com que algumas partículas se desprendam e sejam conduzidas até a próxima camada do filtro, onde o processo se repete (RICHTER; AZEVEDO, 2011).

Nas estações de tratamento de água, por serem estruturas, geralmente, robustas e de difícil modificação, pode-se elaborar e executar um projeto piloto para adequar as dimensões e as condições operacionais da futura ETA, permitindo ainda realizar ensaios sobre sua eficiência.

Os projetos pilotos são estruturas usadas para representar e possibilitar a análise do funcionamento de algo maior nele é possível realizar testes que simulam o funcionamento da futura estrutura e até prever possíveis erros de operação. Os projetos piloto variam em tamanho, custo, função, tecnologias aplicadas e muitos outros, pois a sua construção está diretamente relacionada ao que se espera descobrir sobre a estrutura futura.

3 METODOLOGIA

Considerando que o objetivo desse trabalho foi projetar e executar uma ETA Convencional em escala piloto, composta pelas unidades de coagulação, floculação, decantação e filtração, na metodologia foram descritas as unidades que compõem a estação e as concepções teóricas para o seu dimensionamento.

A metodologia para o dimensionamento da estação, descrita a seguir, foi concebida segundo Richter e Azevedo (2011).

Estabeleceu previamente que a ETA em escala piloto teria um comprimento de 1,20 m de comprimento, 0,40m de largura e 0,30m de altura. A definição dessas dimensões considerou a necessidade de deslocamento da estação para diferentes locais.

3.1 Floculador hidráulico tipo chicana vertical

De acordo com a NBR 12216, a velocidade da água deve ficar entre 10 cm/s e 30 cm/s ao longo dos canais. Dependendo do porte da estação. Não sendo possível proceder aos ensaios destinados a determinar o período de detenção adequado, podem ser adotados valores entre 20 min e 30 min. Não sendo realizados ensaios, deve ser previsto gradiente de velocidade máximo, no primeiro compartimento, de 70 s^{-1} e 10 s^{-1} no último.

Em um compartimento do floculador hidráulico, G é dado pela equação 1.

$$G = \sqrt{\frac{g \cdot h}{v \cdot t}} \quad (1)$$

Onde:

G = gradiente de velocidade, em s^{-1} g = aceleração da gravidade, em m/s^2

h = soma das perdas de carga na entrada e ao longo do compartimento, em m

v = viscosidade cinemática, em m^2/s

t = período de detenção no compartimento, em s

Para o cálculo da perda de carga entre a entrada e a saída do último compartimento foi adotado:

$$\Delta G = 45 \text{ s}^{-1};$$

$$v = 0,000001;$$

$$g = 9,89 \text{ m/s}^2.$$

O tempo de detenção foi determinado dividindo o volume do floculados pela vazão que passar por ele, sendo: $t = 435 \text{ s}$ (menor que o recomendado por norma). Sendo assim, obtém-se um valor para perda de carga $h = 9 \text{ cm}$.

Para o cálculo de área das passagens entre as câmaras foi adotada 0,4 m/s para velocidade do líquido entre a primeira e a segunda câmara, diminuindo proporcionalmente até 0,15 m/s na última passagem, sendo assim obteve-se uma variação das áreas, como mostrado na Tabela 2.

Tabela 1 – Dimensões das passagens do floculador

vel.(m/s)	0,4	0,35	0,30	0,25	0,20	0,15
área(cm^2)	1,7	2,0	2,3	2,8	3,5	4,6

Fonte: NBR 12.216/1992 (Adaptado).

3.2 Decantador

Para o dimensionamento do decantador foram estipulados valores para comprimento, largura e altura utilizado proporções observadas em diferentes Estação de Tratamento de Água já executadas. Considerando as dimensões iniciais da estação (1,2x0,4x0,3 m), estabeleceu-se que o decantador terias as seguintes dimensões:

- Comprimento: 0,60 metro;

- Largura: 0,40 metro;

- Altura: 0,3 metro.

Em seguida foi calculada a taxa de aplicação nos decantadores em função da velocidade de sedimentação das partículas que devem ser removidas pela relação dada pela equação 2:

$$\frac{Q}{A} = f \cdot V_s \quad (2)$$

Onde:

Q = vazão que passa pelo decantador (m^3/s);

A = área superficial útil da zona de decantação (m^2);

f = fator de área, adimensional;

V_s = velocidade de sedimentação (m/s).

Segundo Richter e Azevedo (2011) para decantadores convencionais o fator de área será igual a 1.

Não sendo possível proceder ensaios de laboratório para determinar as velocidades de sedimentação para o cálculo das taxas de aplicação, Richter e Azevedo (2011) sugerem as seguintes velocidades para estações com capacidade de até $1000 m^3/dia$: $1,74 cm/min$, o que corresponde a $25 m^3/m^2 \times dia$.

Assim, a partir da equação 2, considerando as dimensões pré-definidas para o decantador ($0,60 \times 0,40m$), adotando a velocidade de sedimentação sugerida por Richter e Azevedo (2011) foi possível determinar a vazão de escoamento a ser adotada, a qual resultou em $0,07 L/s$ ou $252 L/h$ ou, ainda, $6,048 m^3/dia$.

3.3 Filtro Rápido

A NBR 12216/1992 - Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público - define os filtros rápidos como unidades destinadas a remover partículas em suspensão, podendo eles ser de camada simples ou dupla, de fluxo ascendente ou descendente.

Por serem os que apresentam a execução mais simplificada, será adotado nesse trabalho, o filtro simples de fluxo descendente. O leito filtrando será composto por pedregulhos, areia grossa e areia fina.

Para o dimensionamento dos filtros rápidos a NBR 12216/1992 recomenda que a camada filtrante simples seja constituída de areia com espessura mínima de 45 centímetros, tamanho efetivo das partículas compreendidas entre $0,45$ e $0,55mm$ e coeficiente de uniformidade de $1,4$ a $1,6$.

Para manter a camada filtrante estável com o fluxo de água, é preciso construir uma camada suporte que será constituída de pedregulhos com as seguintes características:

- Espessura mínima igual a duas vezes a distância entre os bocais do fundo do filtro, não podendo ser inferior a $25 cm$;
- Material distribuído em estratos com granulometria decrescendo de baixo para cima, espessura de cada estrato igual ou superior a duas vezes e meia a dimensão característica dos seixos maiores que o constituem, não inferior, porém, a $5 cm$;

- Cada estrato deve ser formado por seixos de tamanho máximo maior ou igual ao dobro do tamanho dos menores;
- O estrato situado imediatamente acima dos bocais deve possuir seixos de pelo menos duas vezes o tamanho dos bocais, sendo de dimensão mínima de $1,0 cm$;
- O estrato em contato direto com a camada filtrante deve ter material de tamanho mínimo menor ao tamanho máximo do material da camada filtrante adjacente;
- Para efeito de dimensionamento dos filtros simples, a taxa de filtração deve ser considerada como no máximo $180m^3/m^2.dia$.

3.4 Matérias de Execução

Após o dimensionamento, considerando uma vazão bastante reduzida para obter um projeto em escala piloto, foi estabelecido que o material a ser utilizado na estrutura externa seria o vidro devido sua resistência, custo e por facilitar a visualização dos processos de remoção de impurezas que ocorrem no interior da ETA. Para as segmentações internas da estação foi utilizado o acrílico por ser leve e apresentar resistência aceitável, bem como ser transparente e permitir a visualização de cada uma das etapas do processo de tratamento.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a conclusão do dimensionamento obteve-se uma ETA com comprimento total de $1,20m$; largura de $0,40m$ e altura de $30cm$ dividida em floculador, decantador e filtro, conforme apresentado na Figura 3.

Figura 3 – ETA convencional em escala piloto.



Fonte: Autores (2020).

4.1 Floculador

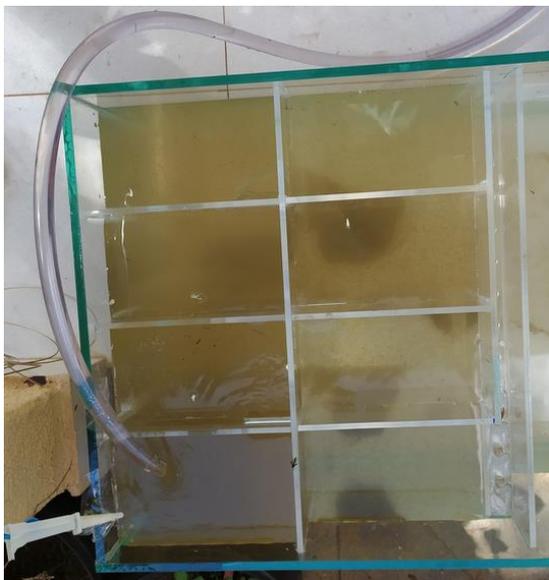
A primeira unidade da ETA foi o floculador onde ocorre a entrada de água bruta e a adição de coagulante – Figura 04.

O floculador foi dimensionado em 8 câmaras com dimensões de $9,5cm$ de largura, $16,5cm$ de comprimento e altura de $30cm$ cada, entre as câmaras de floculação existem aberturas com dimensões $4,5 \times 1,0cm$, localizadas na parte superior ou na parte

inferior permitindo a mistura do coagulante formação dos flóculos.

Entre a transição do flocculador e do decantador há uma parede defletora, que faz a distribuição da água no decantador na parte inferior, tornando o fluxo ascendente.

Figura 4 – Flocculador.



Fonte: Autores (2020).

4.2 Decantador

O decantador possui de 62,5cm de comprimento, tendo em seu início um compartimento para distribuição homogênea do líquido. A largura dessa unidade é de 40cm de largura, o que corresponde a largura total da estação. A altura máxima que o líquido atinge na câmara de decantação é de 20 cm, correspondente à altura de passagem para o filtro rápido. A transição entre o decantador e o filtro é feito por meio de um pequeno canal, instalado na parte superior do decantador que conduz a água clarificada até o filtro – Figura 5.

Figura 5 – Decantador.

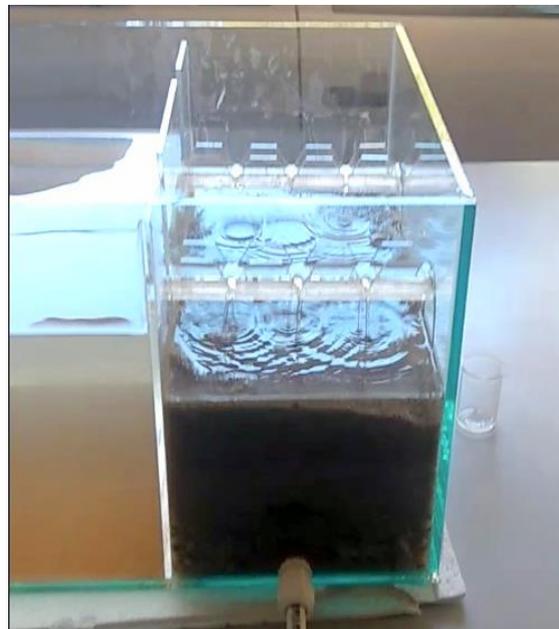


Fonte: Autores (2020).

4.3 Filtro rápido

A última unidade é da ETA é o Filtro rápido que possui comprimento igual a 23cm, largura igual a 40 cm e altura de 20 cm, totalizando um volume de 0,0184m³ - Figura 6.

Figura 6 – Filtro rápido.



Fonte: Autores (2020).

4.4 Eficiência

Para verificar a eficiência da estação na redução da turbidez, principal parâmetro físico para avaliar o tratamento de água, foi realizado ensaio operacional da estação utilizado água bruta coletada no córrego Cascavel, município de Goiânia.

Previamente aferiu a turbidez da água bruta, obtendo o valor de 49 Unidades de Turidez. Em sequência, foi medido a turbidez da água tratada na ETA, obtendo o valor de 1,2 UT. Tais valores apontam uma eficiência de 97,55% de eficiência na redução da turbidez da água bruta.

Embora o Anexo XX da Portaria de Consolidação 05/2017 do Ministério da Saúde estabeleça que a turbidez na saída do tratamento seja de 0,5 UT, a estação não atingiu tal padrão, visto que ainda são necessários ajustes operacionais, como correção de pH e uso auxiliar d coagulação (polímero). Ainda, são necessários ajustes da vazão operacional da estação.

5 CONCLUSÕES

O objetivo de dimensionar e executar uma Estação de Tratamento de Água em escala piloto foi alcançado. A

estação executada demonstrou eficiência na remoção de impurezas presentes na água bruta e redução significativa da turbidez, superior a 95%. Em razão do uso de materiais transparentes na execução – vidro e acrílico – é possível visualizar todos os processos físicos no tratamento da água bruta, portanto é ótima ferramenta didática para a disciplinas relacionadas a hidráulica e tratamento de água.

6 AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente ao meu orientador por ter prestado total assistência, por ter financiado a construção da ETA, pelas correções e ensinamentos que me permitiram apresentar um melhor desempenho no meu processo de formação profissional, sempre me incentivando a ultrapassar todos os obstáculos ao longo dessa caminhada.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.
NBR 12216: Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público, 1992.
- BRASIL. Conama. Resolução 357 de 17 de maio de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências, 2015.
- BRASIL. Ministério da saúde. Portaria de Consolidação nº 5. Brasília, 2017.
- HELLER, Leo; PÁDUA, Valter Lúcio. **Abastecimento de água para consumo humano**, Universidade Federal de Minas Gerais, 2º edição, 2010.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Pesquisa nacional de saneamento básico, 2008.
- RICHTER, Carlos A. e AZEVEDO, José M. Netto, **Tratamento de água Tecnologia atualizada**, São Paulo: Blucher, 1991.

RESOLUÇÃO n° 038/2020 – CEPE

ANEXO I

APÊNDICE ao TCC

Termo de autorização de publicação de produção acadêmica

O(A) estudante Luiz Filipe Fernandes do Curso de engenharia Civil, matrícula 20152002500874, telefone:(62)992328304, e-mail luiz.filipe.fl996@gmail.com, na qualidade de titular dos direitos autorais, em consonância com a Lei nº 9.610/98 (Lei dos Direitos do autor), autoriza a Pontifícia Universidade Católica de Goiás (PUC Goiás) a disponibilizar o Trabalho de Conclusão de Curso intitulado Estação de tratamento de água em escala piloto, gratuitamente, sem ressarcimento dos direitos autorais, por 5 (cinco) anos, conforme permissões do documento, em meio eletrônico, na rede mundial de computadores, no formato especificado (Texto (PDF); Imagem (GIF ou JPEG); Som (WAVE, MPEG, AIFF, SND); Vídeo (MPEG, MWV, AVI, QT); outros, específicos da área; para fins de leitura e/ou impressão pela internet, a título de divulgação da produção científica gerada nos cursos de graduação da PUC Goiás.

Goiânia, 11 de dezembro de 2020.

Assinatura do(s) autor(es): Luiz Filipe Fernandes

Nome completo do autor: Luiz Filipe Fernandes

Assinatura do professor-orientador: Anselmo Claudino de Sousa

Nome completo do professor-orientador: Anselmo Claudino de Sousa