



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA

PROGRAMA INSTITUCIONAL DE BOLSAS DE INICIAÇÃO
CIENTÍFICA – PIBIC

**USO DE MATERIAIS NÃO CONVENCIONAIS MISTURADOS
COM AREIA NO MEIO FILTRANTE PARA O TRATAMENTO
DE ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO**

Área do conhecimento: Engenharias
Subárea do conhecimento: Processos Simplificados de Tratamento de
Águas
Especialidade do conhecimento: Tratamento de água

Relatório Final
Período da bolsa: de setembro de 2020 a agosto de 2021

Este projeto é desenvolvido com bolsa de iniciação científica
PIBIC/CNPq

Orientador: Denise Conceição de Gois Santos Michelan
Autor: Samara Tavares dos Santos

SUMÁRIO

1. Introdução	3
2. Objetivos	5
3. Metodologia	5
3.1. Água sintética	5
3.2. Meios filtrantes	6
3.2.1. Areia	7
3.2.2. Fibras de coco	8
3.2.3. Resíduo cerâmico	8
3.2.4. Caracterização dos materiais não convencionais	9
3.3. Camada suporte	11
3.4. Sistemas pilotos	11
3.5. Análises da água bruta e filtrada	13
3.6. Comparação de resultados	15
4. Resultados e discussões	15
4.1. Dosagem do lodo de ETA adicionado à água subterrânea	15
4.2. Desempenho do sistema piloto	17
4.2.1. Parâmetros físicos-químicos	17
4.2.2. Parâmetros microbiológicos	36
4.3 Desempenho dos materiais não convencionais	38
5. Conclusões	39
6. Perspectivas de futuros trabalhos	40
7. Referências bibliográficas	40
8. Outras atividades	42
9. Justificativa de alteração no plano de trabalho	42

1. Introdução

A água é um elemento essencial para a vida na Terra e, apesar de ser tratada como um recurso natural abundante, é uma riqueza limitada. A mesma se faz presente nas atividades humanas, desde as atividades industriais até a agricultura. Contudo, ainda há descaso, desperdício e falta de investimentos quanto ao seu uso.

A água destinada à população deve ser potável, ou seja, tratada, que se enquadre de acordo com padrões de qualidade apresentados pelo Ministério da Saúde, por meio da legislação vigente. Quando se trata de perímetro urbano, geralmente a água de abastecimento é tratada em Estações de Tratamento de Água (ETA) comandadas por órgãos públicos ou empresas privadas. O mesmo, normalmente, não acontece em comunidades rurais, onde muitas das vezes não há distribuição e tratamento adequado e assim o abastecimento ocorre decorrente de soluções alternativas como poços de uso familiar ou coletivo, aproveitamento de água da chuva, entre outras.

Há diversas maneiras de se tratar a água para chegar na qualidade adequada. Para definir qual o tratamento a ser utilizado é necessário inicialmente conhecer a qualidade da água bruta, proveniente de mananciais superficiais ou subterrâneos e que não passou por tratamento, e assim empregar a solução mais adequada, dentre elas, pode-se citar simples fervura, filtros domésticos, filtros de areia, desinfecção solar, cloração, ou até mesmo um tratamento mais completo envolvendo coagulação química ou natural (PÁDUA (2010).

A filtração lenta, também chamada de filtro de areia, é reconhecida como a tecnologia mais apropriada para o tratamento de água voltada para o abastecimento de pequenas comunidades. Sendo de simples construção, operação e manutenção os filtros lentos não necessitam de mão de obra qualificada, representando assim custos geralmente acessíveis (NASCIMENTO, PELEGRINI e BRITO, 2012). Ainda, diferente do perímetro urbano, essas pequenas comunidades costumam dispor de áreas significativas para a implantação do sistema de tratamento, viabilizando o seu uso.

Na filtração lenta, a remoção das impurezas ocorre por meio de mecanismos físicos-químicos, quando ocorre a passagem da água bruta pelo meio filtrante,

geralmente areia, deixando as partículas retidas nos poros desse filtrante, e também por atividades biológicas, após o desenvolvimento da camada biológica no meio filtrante (HELLER et al., 2004; SOUZA, 2017).

Os filtros lentos ditos convencionais possuem leitos filtrantes de areia. Contudo, segundo Lima (2020), os avanços nos estudos voltados à filtração lenta não se limitam às características da areia. Desta forma, sabe-se que já foram realizados diversos estudos voltados à modificação desse sistema mantendo eficiência. Algumas das alterações feitas está na utilização de meio filtrante modificado com materiais não convencionais buscando a substituição integral ou parcial da areia comumente utilizada.

Para o desenvolvimento desta pesquisa foi importante conhecer quais os materiais estão sendo utilizados como meio filtrante e quais as características dessa aplicação. Sendo assim, o projeto de pesquisa se baseou na união entre a revisão sistemática, apresentada no relatório parcial, e a parte experimental descrita no relatório final.

A revisão sistemática teve como objetivo a investigação de quais os materiais não convencionais estão sendo empregados em meios filtrantes de filtros lentos. O portfólio bibliográfico foi formado por 32 trabalhos obtidos nas bases de dados internacionais *Scopus*, *Web of Science* e *ScienceDirect* e também por meio amostragem “bola de neve”, que consiste na técnica de encontrar novos trabalhos a partir das referências pelos trabalhos aceitos. As buscas pelos artigos foram realizadas sem limitação de período de publicação dos mesmos. Desta forma, foram encontrados trabalhos sobre o tema desde 1974 a 2020, que foi o período de desenvolvimento da revisão.

Com a revisão, observou-se a variedade de materiais sendo empregados nos filtros lentos, assim como variação para aplicação de taxas de filtração, parâmetros monitorados e taxas de remoção. Dos 32 trabalhos analisados, 68,75% abordavam a adição dos materiais não convencionais à areia, separados ou misturados, e 31,25% propunham a substituição total da areia. Areia com adição de ferro foi o meio filtrante mais utilizado nos artigos, totalizando seis publicações, acompanhado por mantas não tecidas, escória de alto forno, zeólita (mineral com estrutura porosa)

e óxido de ferro somando 5, 3, 3 e 2 publicações, respectivamente. Outros materiais, como bauxita natural, resíduos de ardósia, entre outros; foram empregados apenas uma vez nos trabalhos selecionados.

Diante disto, este relatório foi pautado na análise da eficiência dos filtros lentos no tratamento de água associado ao aproveitamento de materiais que a princípio seriam descartados.

2. Objetivos

O presente trabalho teve como objetivo comparar a eficiência no tratamento de água do filtro lento de areia com dois outros filtros com meio filtrante misturado com areia, um misturado com fibra de coco e outro com resíduo cerâmico.

Assim sendo, fez-se necessário: determinar a dosagem do lodo de ETA a ser adicionada à água subterrânea; preparar a água sintética, que seria a mistura de água subterrânea e lodo de ETA; monitorar a qualidade da água com base nos parâmetros de pH, temperatura, cor (aparente e verdadeira), turbidez e coliformes totais e termotolerantes, para a água sintética e a água tratada dos filtros convencional, fibra de coco misturado com areia e resíduo cerâmico misturado com areia; comparar os resultados das águas tratadas com os limites estabelecidos pelo Ministério da Saúde, publicados na Portaria de Consolidação nº 5 (BRASIL, 2017); comparar os filtros entre si com base na eficiência do tratamento de água.

3. Metodologia

3.1. Água sintética

A água bruta utilizada neste trabalho tem origem no Poço nº 2 (dois) da Universidade Federal de Sergipe (UFS), Campus de São Cristóvão. A escolha deste poço deu-se pelo fato do mesmo estar mais próximo da localização de onde seriam instalados os sistemas de tratamento (Sistemas Piloto), que no caso é no Departamento de Engenharia Civil (DEC). A Tabela 1 apresenta as características físico-químicas da água do poço citado, de acordo com Damasceno (2010), bem como valores permissíveis quanto a potabilidade da água, vigentes na época das análises (BRASIL, 2017).

Tabela 1. Boletim de análises do Poço nº 2 e limites dos parâmetros.

Parâmetros	Valores	Valores Permissíveis
Amônia (mg L⁻¹ como NH₃)	0,04	1,5
Cloretos (mg L⁻¹)	135,8	250
Condutividade elétrica (µS/cm)	203,7	1.500
Cor aparente (uH)	40	15
Dureza total (mg L⁻¹)	30,06	500
Ferro (mg L⁻¹)	0,76	0,3
pH	4,72	6,00 - 9,50
Sólidos totais dissolvidos (mg L⁻¹)	138,5	1.000
Turbidez (uT)	8,24	5

Fonte: Adaptado de Damasceno (2010).

Ao analisar os valores citados na Tabela 1, percebe-se que a água bruta necessita passar por tratamento para que alguns dos seus parâmetros se enquadrem de acordo com os valores permissíveis para consumo humano. Ainda, de acordo com Lima (2020), a água subterrânea do Poço nº 2 não apresenta concentração de coliformes significativa em períodos sem precipitação. Desta forma, para que se obtivesse água bruta com presença contínua de coliformes, preparou-se a água sintética com a adição de lodo de ETA a água subterrânea bruta. Por ser um lodo enriquecido de coliformes provenientes de manancial, tal adição tornou possível verificar a eficiência dos filtros para o tratamento de água quanto a concentração de coliformes totais e termotolerantes.

Para a determinação da dosagem de lodo de ETA a ser adicionada à água subterrânea, testou-se algumas dosagens até se obter resultados satisfatórios e com isso alimentar os sistemas.

3.2. Meios filtrantes

Foram utilizados três meios filtrantes: areia, fibras de coco e resíduo cerâmico. O grupo de pesquisa trabalha com uma amostra matriz desses materiais. Desta forma, a origem e a caracterização dos materiais foram determinadas em pesquisas realizadas anteriormente onde se utilizaram os mesmos materiais do presente projeto.

3.2.1. Areia

A areia utilizada no tratamento de água deve ser areia lavada, isenta de raízes e outros resíduos. Desta forma, a areia da amostra matriz utilizada foi adquirida em loja de materiais de construção, onde normalmente comercializam esse tipo de areia, e foi lavada com água potável oriunda da rede de abastecimento de água. A caracterização da mesma está referenciada no trabalho de Lima (2020) através da análise granulométrica, conduzida no Laboratório de Geotecnia e Pavimentação (GEOPAV) do Departamento de Engenharia Civil (DEC) da Universidade Federal de Sergipe (UFS), conforme recomendações do Departamento Nacional de Estradas de Rodagens (DNER), por meio do Método de Ensaio 083 (BRASIL, 1998).

Para realização desse ensaio é necessário ter uma amostra com massa mínima de 1 kg de areia e, para se chegar nessa massa, a amostra foi reduzida por quarteamento até se obter a quantidade desejada. Em seguida, realiza-se o peneiramento, de modo que a amostra passe pelas peneiras com abertura de malha em ordem decrescente do topo para a base (19,0; 12,7; 9,5; 4,75; 2,36; 2,00; 1,18; 0,60; 0,425; 0,30; 0,15 e 0,075 mm). Ao finalizar a agitação das peneiras, sabe-se quanto de massa ficou retido em cada peneira. Assim, pode-se calcular as porcentagens de massa retida em relação à massa da amostra total seca (M_{Ri} (%)) com a Equação (1).

$$M_{Ri}(\%) = \frac{M_{Ri}}{M_{TS0}} \quad (1)$$

sendo M_{Ri} a massa retida em cada peneira, em gramas.

A soma da retenção de uma peneira com todas as outras anteriores fornece a porcentagem acumulada, em ordem decrescente de abertura. A partir da análise granulométrica é possível traçar a curva granulométrica.

Através da curva granulométrica, obtém-se o tamanho efetivo da amostra (d_{10}), referente ao tamanho dos grãos abaixo do qual fica retido 10% da massa total da amostra, assim como o coeficiente de uniformidade dos grãos (RICHTER, 2009).

O coeficiente de uniformidade é obtido a partir da relação entre o tamanho dos grãos abaixo do qual ficam 60% do total da amostra (d_{60}) e o tamanho abaixo do

qual fica retido 10% do total da amostra (d_{10}), ilustrado na Equação (2).

$$U = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad (2)$$

Segundo Lima (2020), a areia utilizada possui grãos com tamanho efetivo médio de 0,17 mm e coeficiente de uniformidade médio de 3,15.

Após a caracterização, a areia foi utilizada de forma isolada para compor o meio filtrante do Filtro 3 e misturada com os materiais não convencionais resíduo cerâmico e fibras de coco nos filtros 1 e 2, respectivamente.

3.2.2. Fibras de coco

As fibras de coco podem ser obtidas seja diretamente no coco, descascado e em seguida secado, ou de forma mais prática, obtido em loja de jardinagem ou material de construção. As fibras de coco da amostra matriz (Figura 1) foram obtidas em loja de jardinagem. Como as fibras contém impurezas, com o intuito da retirada destas, as fibras passaram por lavagem prévia com água destilada. Tal lavagem ocorreu até que não fosse possível visualizar impurezas na água de lavagem.

Figura 1. Fibras de coco.



Fonte: Autor (2021).

Após a lavagem, as fibras foram trituradas e misturadas com a areia para compor o meio filtrante do Filtro 2. A mistura do meio filtrante com fibras de coco foi de 1:100 (areia: fibra de coco), definido em unidade de massa.

3.2.3. Resíduo cerâmico

Os resíduos cerâmicos da amostra matriz foram obtidos a partir de blocos cerâmicos descartados por apresentarem qualidade insuficiente para seu emprego na construção civil, que geralmente são blocos com problemas na queima, dimensões ou resistência.

Os resíduos tiveram suas dimensões reduzidas, conforme Figura 2, e sua caracterização e lavagem foi realizada assim como a das fibras de coco. Por fim, os resíduos cerâmicos foram misturados com a areia para compor o meio filtrante do Filtro 1, com traço de 1:1 (areia:resíduo cerâmico), medido em unidade de massa.

Figura 2. Resíduos cerâmico triturados.



Fonte: Autor (2021).

3.2.4. Caracterização dos materiais não convencionais

Assim como para a areia, a caracterização dos materiais não convencionais foi realizada no trabalho de Lima (2020) mediante determinação da absorção de água, densidade aparente e porosidade aparente.

A absorção de água é definida como o aumento percentual da massa de uma amostra quando a água preenche todos os poros abertos do material. Para isso, determina-se a massa das amostras previamente secas em estufa à 100 °C por uma hora. Em seguida, as amostras são deixadas imersas em água destilada por 24 horas e, após esse período, determina-se a massa úmida das amostras. O cálculo do percentual de absorção de água (AA) é dado pela Equação (3).

$$AA (\%) = \left(\frac{M_u - M_s}{M_s} \right) \times 100 \quad (3)$$

em que M_u é a massa da amostra úmida (g) e M_s é a massa da amostra seca (g).

Os valores de absorção de água obtidos por Lima (2020) foram de $103,90 \pm 14,34$ % para as fibras de coco e $10,94 \pm 1,07$ % para o resíduo cerâmico.

Já a densidade aparente foi determinada através de picnometria. O método de picnômetro baseia-se no volume que a amostra ocuparia se sua densidade fosse igual à da água. Desta forma, fez-se necessário determinar quatro massas: massa do picnômetro vazio e enxuto; massa do picnômetro enxuto com a amostra oriunda do ensaio de absorção de água; massa do picnômetro mais amostra com seu volume completado com água; e massa do picnômetro limpo cheio de água.

A densidade aparente dos materiais (ρ_{ap}) foi dada a partir da Equação (4).

$$\rho_{ap} = \left(\frac{M_u}{M_{w1} - M_{w2}} \right) \times \rho_w \quad (4)$$

sendo,

M_u é a massa úmida do material, em gramas;

M_{w1} é a massa de água necessária para ocupar todo o volume interno do picnômetro, é obtida a partir da diferença entre as massas do picnômetro cheio de água e do picnômetro vazio, em gramas;

M_{w2} é a massa de água que deixou de ser adicionada ao picnômetro por ocasião da presença do material em seu interior, é a diferença entre a massa do conjunto picnômetro, amostra e água e a massa do picnômetro com a amostra, em gramas;

ρ_w é a densidade da água na temperatura do experimento, em g/cm³.

A densidade aparente dos materiais encontrada por Lima (2020) foi de $0,985 \pm 0,143$ g/cm³ para as fibras de coco e $2,184 \pm 0,012$ g/cm³ para o resíduo cerâmico.

Para a porosidade aparente (PA), que consiste na relação entre os volumes de poros abertos e o volume total da amostra, a sua determinação é realizada através da Equação (5).

$$PA (\%) = \left(\frac{M_u - M_s}{M_u / \rho_{ap}} \right) \times 100 \quad (5)$$

onde,

M_u é a massa úmida do material, em gramas;

M_s é a massa seca do material, em gramas;

ρ_{ap} é a densidade aparente do material, em g/cm³.

Segundo Lima (2020), a porosidade aparente para as fibras de coco foram de $49,85 \pm 3,88 \%$ e para o resíduo cerâmico foi de $21,53 \pm 2,02 \%$.

3.3. Camada suporte

A camada suporte utilizada em todos os filtros é de mesmo material e granulometria, composta por britas graduadas no sentido do fluxo de água. Assim como para os materiais dos meios filtrantes, o material utilizado na camada suporte provêm de uma amostra matriz utilizada no trabalho de Lima (2020).

A caracterização dessa camada se deu por meio de análise dimensional dos grãos de cada camada. Assim como os materiais utilizados no meio filtrante, as britas passaram por lavagem, de modo a retirar possíveis impurezas agregadas aos grãos.

Após o aprofundamento de informações com os artigos analisados na revisão sistemática realizada na primeira parte do projeto, decidiu-se confinar a camada suporte de brita entre mantas não tecida, de modo a não ter meio filtrante preenchendo os seus vazios.

3.4. Sistemas pilotos

Os sistemas pilotos foram instalados e operados no Laboratório de Hidráulica (LABHID) do Departamento de Engenharia Civil (DEC) da Universidade Federal de Sergipe (UFS). Ao todo, foram montados três filtros lentos (sistema piloto) com diferentes meios filtrantes, a saber: de areia misturada com resíduo cerâmico (Filtro 1); areia misturada com fibras de coco (Filtro 2) e filtro convencional de areia (Filtro 3), tiveram funcionamento independente entre si. Todos os filtros foram montados única e exclusivamente para a finalidade da pesquisa PIBIC 2020-2021.

Cada filtro possui estrutura com paredes de vidro, por ser um material que não permite aderência do meio filtrante, com espessura de 4 mm e seção de 11 x 11 cm, apoiado em estrutura de madeira (Figura 3). A água filtrada foi obtida, a partir de tubulações, que era encaminhada de uma torneira instalada em cota acima do nível do meio filtrante. Desta forma, era possível manter alguns centímetros de lâmina d'água acima do leito filtrante e assim favorecer a formação e conservação

da camada biológica.

Figura 3. Filtros 1, 2 e 3, respectivamente.

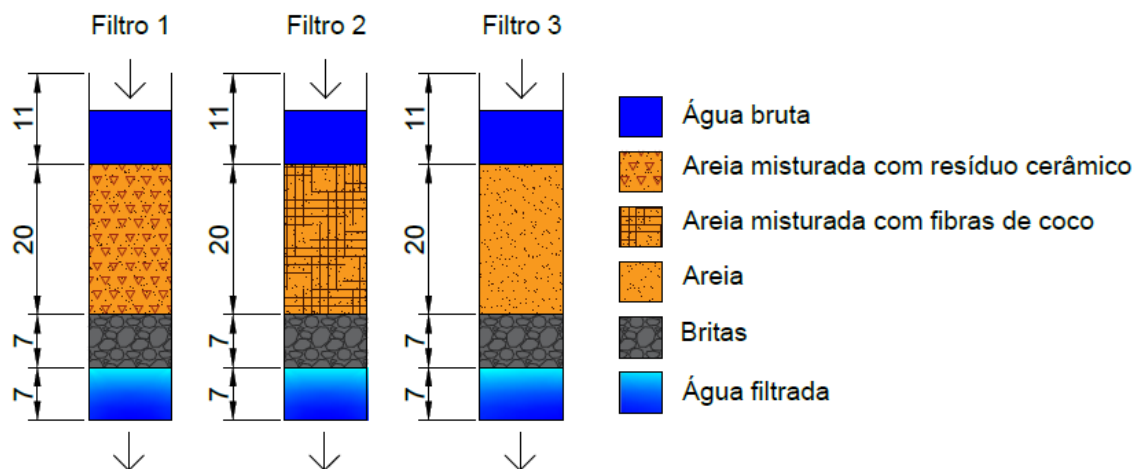


Fonte: Autor (2021).

A vazão de entrada e de saída em cada filtro foi controlada a partir do grau de abertura das torneiras, possibilitando realizar o controle de água, caso houvesse necessidade de fazer manutenção. Buscou-se fixar a vazão de entrada nos filtros com taxas de filtração de $3 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$, com 10% de tolerância. O sentido do fluxo em todos os filtros foi descendente, sendo a água coletada por fundo falso.

Os filtros operaram durante 123 dias, continuamente, no período de 25/03/2021 a 26/07/2021. O esquema da camada suporte e dos meios filtrantes em cada filtro pode ser visualizado na Figura 4.

Figura 4. Espessuras da camada suporte e meios filtrantes, com dimensões em centímetros.



Fonte: Autor (2021).

3.5. Análises da água bruta e filtrada

Inicialmente, o monitoramento da água bruta e filtrada seria realizado no período de 12 meses, contudo, devido ao cenário pandêmico, a amostragem foi realizada entre os meses de março e julho. Esta alteração no cronograma inicial do projeto foi aprovada pela COMPITEC/COMPQ. O monitoramento foi realizado por meio da análise de parâmetros físico-químicos e biológicos, como cor aparente e verdadeira, turbidez, pH, temperatura, coliformes totais e coliformes termotolerantes.

Assim como o cronograma de monitoramento, a frequência de análises dos parâmetros também foi alterada. Os parâmetros pH, cor aparente, cor verdadeira, turbidez e temperatura, que inicialmente teriam análises três vezes por semana, passaram a ter frequência de duas vezes semanais. Os coliformes totais e termotolerantes permaneceram com a mesma frequência da proposta original do projeto, mensal.

O Quadro 1 apresenta as frequências das análises bem como as metodologias/equipamentos utilizados.

Quadro 1. Parâmetros monitorados.

Parâmetros	Frequência	Metodologia
pH	Duas vezes por semana	Metodologia 4500-H (APHA, 2012)/pHmetro
Cor aparente (uH)	Duas vezes por semana	Metodologia 2120 (APHA, 2012)/Espectrofotômetro.
Cor Verdadeira (uH)	Duas vezes por semana	Metodologia 2120 (APHA, 2012)/Espectrofotômetro, filtrada em membrana 0,45 µm.
Turbidez (uT)	Duas vezes por semana	Metodologia 2130 (APHA, 2012)/Espectrofotômetro
Temperatura (°C)	Duas vezes por semana	Termômetro de Infravermelho
Coliformes totais (NMP/100mL)	Mensal	Método dos tubos múltiplos (Adaptado de BRASIL, 2013)
Coliformes termotolerantes (NMP/100mL)	Mensal	Método dos tubos múltiplos (Adaptado de BRASIL, 2013)

Fonte: Autor (2021).

As análises de temperatura, turbidez, pH, cor aparente e cor verdadeira foram realizadas no Laboratório de Saneamento e Meio Ambiente (SAMA) do Departamento de Engenharia Civil (DEC) da Universidade Federal de Sergipe (UFS). Já as amostras para quantificação de coliformes totais e coliformes termotolerantes foram coletadas e enviadas ao Instituto Tecnológico e de Pesquisas do Estado de Sergipe (ITPS). Por causa das restrições pandêmicas, não foi possível realiza-las em laboratório da UFS.

Para a avaliação do desempenho foram analisados os dados das amostras para os parâmetros citados anteriormente. Desta forma analisando a eficiência de remoção, Índice de Atendimento ao Padrão de Potabilidade (IAPP) e Índice de Decaimento da Qualidade da Água (IDQA) para os três filtros.

Conforme a Equação (6), IAPP é a relação entre o número de amostras que atendem ao padrão de potabilidade para o parâmetro estudado e o número total de amostras analisadas.

$$IAPP = \frac{N^{\circ} \text{ de amostras cujo parâmetro atende ao padrão de potabilidade}}{N^{\circ} \text{ total de amostras para o mesmo parâmetro}} \quad (6)$$

Já o IPQA mede o percentual de amostras cuja qualidade foi deteriorada para determinado parâmetro, conforme Equação (7).

$$IDQA = \frac{N^{\circ} \text{ de amostras com qualidade deteriorada após a filtração}}{N^{\circ} \text{ total de amostras para o mesmo parâmetro}} \quad (7)$$

3.6. Comparação de resultados

O plano de trabalho inicial previa a comparação trimestral dos resultados, com o objetivo de trazer características sazonais. No entanto, devido a pandemia, alterou-se o cronograma para que os resultados de água bruta e água tratada de cada filtro fossem comparados mensalmente durante o período de monitoramento dos parâmetros. Para a água bruta (AB), a comparação foi realizada com as características de água subterrânea (BRASIL, 2008), enquanto a água tratada foi comparada aos limites estabelecidos na Portaria de Consolidação (PRC) nº 5 (BRASIL, 2017).

Além da comparação supracitada, observou-se também o desempenho dos sistemas piloto recheados entre si e entre os filtros com material não convencional (Filtros 1 e 2) com o Filtro 3, considerado convencional.

Os resultados foram analisados a partir de gráficos, tabelas e metodologias estatísticas descritivas ou não. A maioria das séries de dados foram avaliadas quanto a sua aderência à distribuição de probabilidade normal (teste de normalidade) e, caso se ajustassem à distribuição normal, foram aplicados testes estatísticos paramétricos sobre a média e/ou mediana, caso contrário foram aplicados testes não paramétricos. Todos os testes estatísticos serão feitos com nível de significância de 5%.

4. Resultados e discussões

4.1. Dosagem do lodo de ETA adicionado à água subterrânea

Para a determinação da dosagem do lodo de ETA a ser adicionada à água subterrânea que abasteceria os filtros foram adicionadas diferentes quantidades de lodo à água do poço para analisar qual dosagem apresenta melhores resultados para se alcançar o objetivo de verificar a concentração de coliformes totais e termotolerantes.

As amostras A (água do poço), B (água do poço + 1 mL de lodo), C (água do poço + 2 mL de lodo), D (água do poço + 5 mL de lodo) e E (água do poço + 10 mL de lodo) foram analisadas quanto aos parâmetros de cor aparente, alumínio, ferro, pH, sólidos totais dissolvidos e turbidez. A água de poço correspondeu a 500 mL. Buscou-se analisar estes parâmetros de modo a observar que a adição do lodo ainda viabilizasse o uso da técnica de tratamento filtração lenta no tratamento de água. Os resultados dessas análises, assim como os valores permissíveis, são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Parâmetros para água do poço + lodo.

Parâmetros	Valores					Valores Permissíveis
	A	B	C	D	E	
Cor aparente (uH)	34	24	23	34	32	-
Alumínio total (mg L⁻¹)	0,831	2,07	6,44	6,36	1,05	0,20
Ferro total (mg L⁻¹)	0,898	0,656	1,64	0,649	<0,016*	0,30
pH	4,72	5,4	5,6	5,8	5,8	6,00 - 9,50
Sólidos totais dissolvidos (mg L⁻¹)	156	182	172	420	620	1000
Turbidez (uT)	9	16	25	48	86	5

* Limite mínimo de detecção do aparelho.

Fonte: Autor (2021).

Analisou-se a amostra A como referência. Optou-se por utilizar a relação de água poço + lodo B, pois as demais amostras agregaram significativamente a cor aparente, turbidez, e/ou alumínio total. Além disso, as amostras C, D e E quanto aos sólidos totais dissolvidos apresentaram valores significativos se comparado à amostra B. A presença de sólidos totais dissolvidos demasiadamente poderia colmatar os vazios existentes entre os grãos do meio filtrante, comprometendo a passagem da água. Somado a essa informação, os coliformes totais e termotolerantes das amostras B, C, D e E, apresentaram resultados semelhantes, com $8,3 \cdot 10^3$ e $8,5 \cdot 10^3$, respectivamente.

4.2. Desempenho do sistema piloto

A avaliação quanto ao desempenho dos filtros foi feita por meio do monitoramento de parâmetros físico-químicos (pH, temperatura, turbidez, cor aparente e cor verdadeira) e microbiológicos (coliformes totais e termotolerantes). A Tabela 3 apresenta o número de observações realizadas para cada parâmetro.

Tabela 3. Número de observações por parâmetro.

Parâmetros	N.º de observações
pH	27
Cor aparente (uH)	27
Cor Verdadeira (uH)	27
Turbidez (uT)	27
Temperatura (°C)	27
Coliformes totais (NMP/100mL)	4
Coliformes termotolerantes (NMP/100mL)	4

Fonte: Autor (2021).

4.2.1. Parâmetros físicos-químicos

- pH

A Tabela 4 exibe os dados da estatística descritiva para as análises de pH das amostras de água bruta e água tratada. A significância do teste de normalidade foi encontrada a partir do teste de Kolmogorov-Smirnov.

Tabela 4. Estatística descritiva - pH.

	AB	Filtro 1	Filtro 2	Filtro 3
Média	6,41	6,46	6,47	6,37
Intervalo de maior frequência	6,8 - 7,2 (33,34%)	6,7 - 7,2 (40,75%)	6,4 - 6,8 (40,75%)	6,1 - 6,7 (48,15%)
Mediana	6,50	6,50	6,60	6,50
Desvio padrão	0,54	0,56	0,51	0,64
Mínimo	5,20	5,20	5,20	4,30
Máximo	7,50	7,70	7,60	7,60
Significância do teste de normalidade (>0,05)	0,200	0,200	0,200	0,001

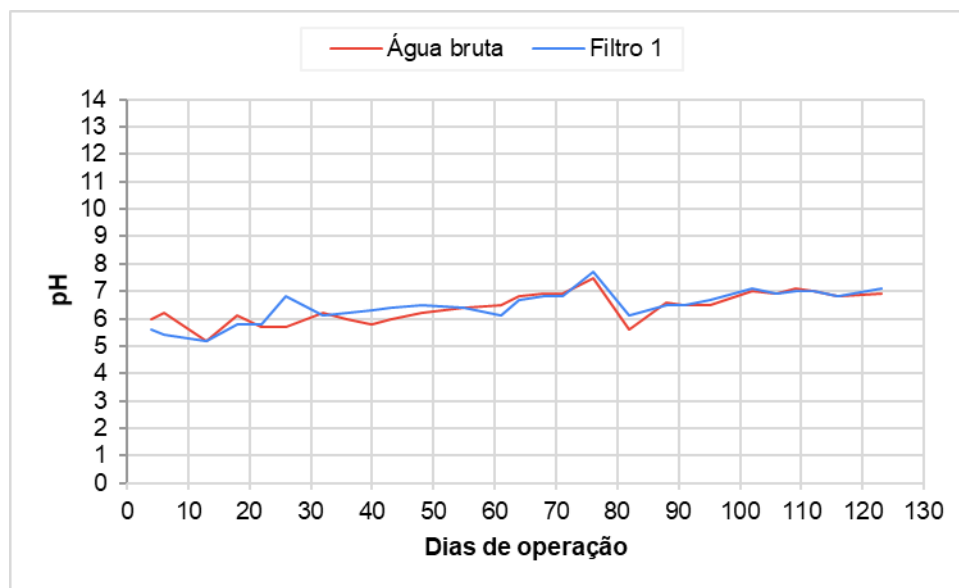
Fonte: Autor (2021).

Como observado na Tabela 4, a variação dos valores de pH para a água bruta foi de 5,20 e 7,50, sendo que a maioria das amostras apresentaram pH de 6,80 a 7,20. Como a portaria do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 396 (BRASIL, 2008) não apresenta valores de pH para fins de classificação da água bruta, considerou-se a faixa de pH exigido para consumo humano pela PRC nº 5 do Ministério da Saúde - MS (BRASIL, 2017), que é de 6,00 a 9,50. Desta forma, 81,48% das amostras de água bruta atenderam a exigência quanto ao pH.

Para a água tratada dos filtros, os valores de pH variaram de 4,30 a 7,70. A maior parte dos dados permaneceram na faixa de 6,00 a 9,50, com 82,72% das amostras dos filtros apresentando pH adequado para consumo humano. De forma semelhante, Nascimento, Pelegrini e Brito (2012) verificaram valores de pH na faixa de 6,7 a 7,4 para água bruta e filtrada em seus estudos sobre filtração lenta para tratamento de água em pequenas comunidades rurais.

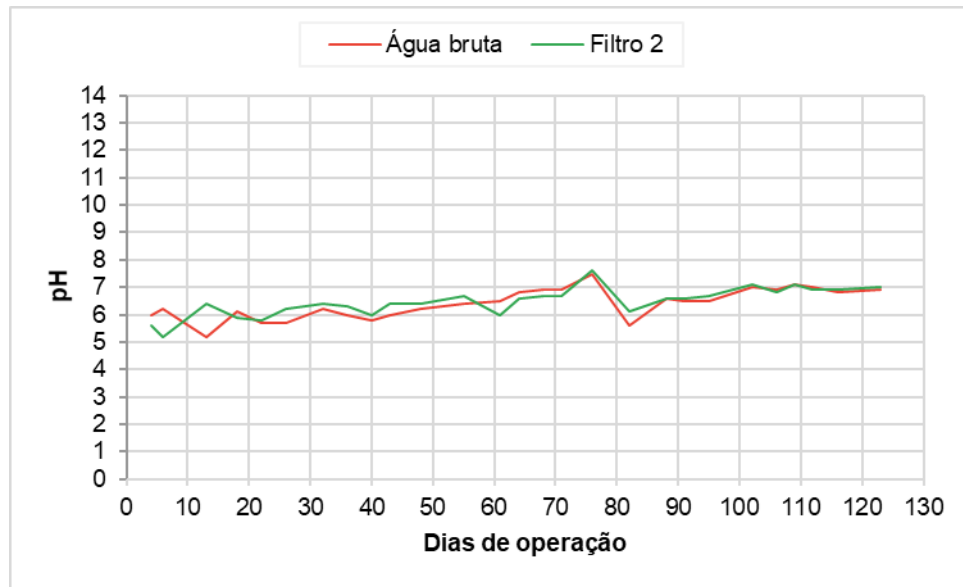
As Figuras 5, 6 e 7 apresentam o comportamento temporal do pH da água bruta *versus* Filtro 1, Filtro 2 e Filtro 3, respectivamente.

Figura 5. pH - Água bruta x Filtro 1.



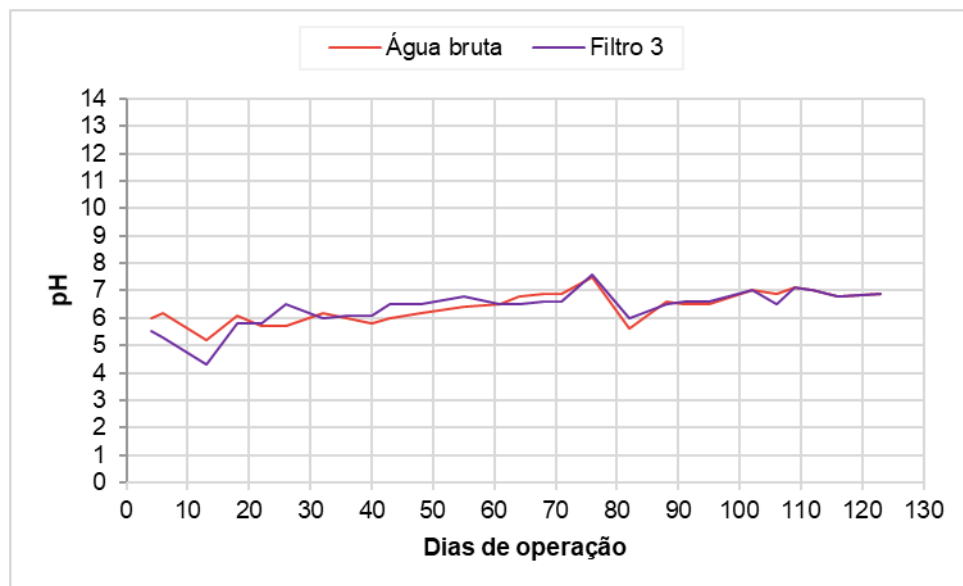
Fonte: Autor (2021).

Figura 6. pH - Água bruta x Filtro 2.



Fonte: Autor (2021).

Figura 7. pH - Água bruta x Filtro 3.



Fonte: Autor (2021).

Como pode ser observado nas Figuras 4, 5 e 6, ao longo do tempo de operação dos filtros o pH tende à elevação nos valores de pH até se estabilizar. Murtha (1998) observou em seu trabalho que essas alterações no pH da água efluente aos filtros lentos acontecem quanto mais desenvolvida fosse a camada biológica que tende a se formar na superfície do meio filtrante do filtro lento.

Ao comparar estatisticamente os valores de pH obtidos entre as amostras de água bruta e água tratada de cada filtro, assim como entre as amostras de água tratada de cada unidade, foram encontradas diferenças significativas que são apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5. Comparação estatística entre as médias do pH das amostras (p – Valor).

	AB	Filtro 1	Filtro 2	Filtro 3
Água bruta	-	0,481 ^a	0,411 ^a	0,714 ^b
Filtro 1	0,481 ^a	-	0,796 ^a	0,035 ^b
Filtro 2	0,411 ^a	0,796 ^a	-	0,174 ^b
Filtro 3	0,714 ^b	0,035 ^b	0,174 ^b	-

Fonte: Autor (2021).

Diante dos resultados da comparação entre as médias do pH é possível verificar que não houve diferenças significativas entre os valores das amostras de água bruta e água tratada, sendo observadas diferenças significativas apenas entre as amostras dos Filtros 1 e 3. Desta forma, observa-se que os filtros com meios filtrantes com materiais não convencionais apresentaram resultados semelhantes aos alcançados pelo filtro convencional.

- **Temperatura**

A Tabela 6 traz os dados da estatística descritiva para as análises da temperatura das amostras de água bruta e água tratada. A significância do teste de normalidade foi encontrada a partir do teste de Kolmogorov-Smirnov.

^a Teste paramétrico “T” pareado: utilizado apenas quando verificado o atendimento à distribuição normal.

^b Teste não paramétrico de Wilcoxon: utilizado quando não verificadas adequações dos resultados à distribuição normal, ou ainda quando necessário comparar variáveis com distribuições normal e não-normal.

Tabela 6. Estatística descritiva - temperatura.

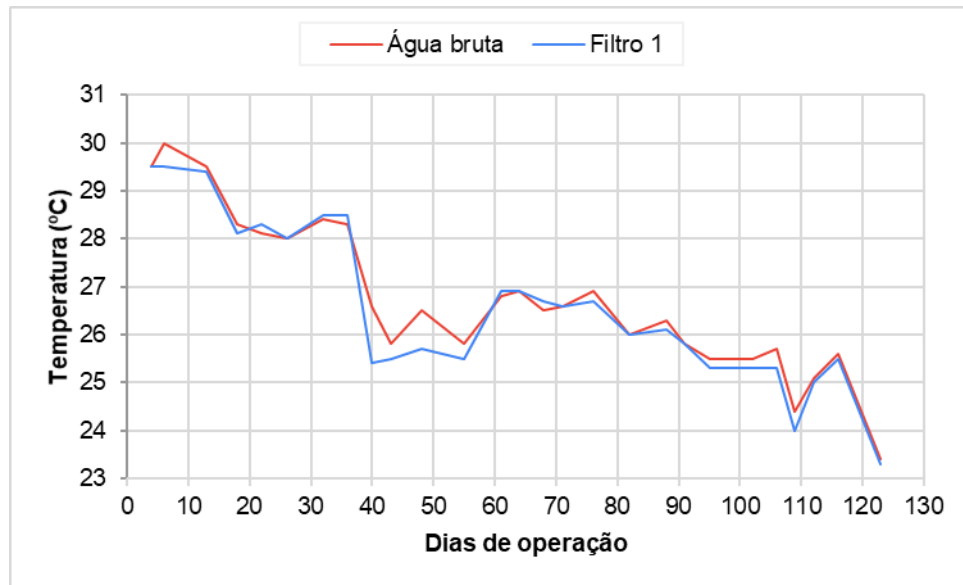
	AB	Filtro 1	Filtro 2	Filtro 3
Média	26,73	26,57	26,54	26,51
Intervalo de maior frequência	25,6 - 26,7 (40,75%)	25,5 - 26,6 (25,93%)	25,4 - 26,4 (33,34%)	24,4 - 26,6 (44,46%)
Mediana	26,50	26,10	26,10	26,10
Desvio padrão	1,56	1,63	1,60	1,62
Mínimo	23,40	23,30	23,40	23,30
Máximo	30,00	29,50	29,40	29,50
Significância do teste de normalidade (>0,05)	0,068	0,200	0,139	0,131

Fonte: Autor (2021).

A temperatura da água bruta variou de 23,40 a 30,00 °C, sendo que a maior parte das amostras apresentaram temperatura entre 25,60 e 26,70 °C, totalizando 40,75% dos dados. Já as amostras de água tratada apresentaram valores entre 23,30 e 29,50 °C. A maioria das observações para a água tratada estavam no intervalo de 24,40 a 26,60 °C, apresentando pequena redução de temperatura quando comparada a água bruta.

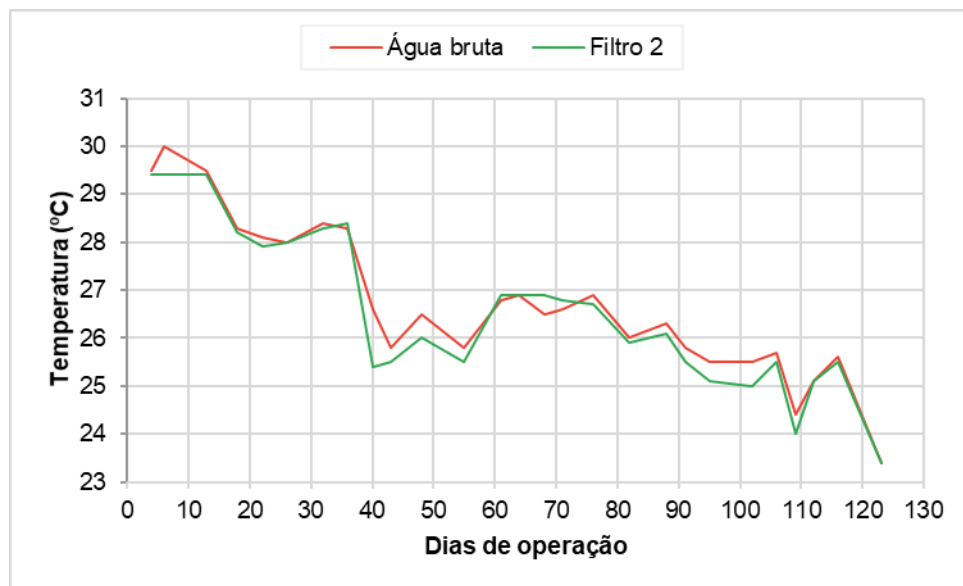
A variação temporal da temperatura da água bruta e da água tratada nos filtros 1, 2 e 3 pode ser observada nas Figuras 8, 9 e 10, respectivamente.

Figura 8. Temperatura - Água bruta x Filtro 1.



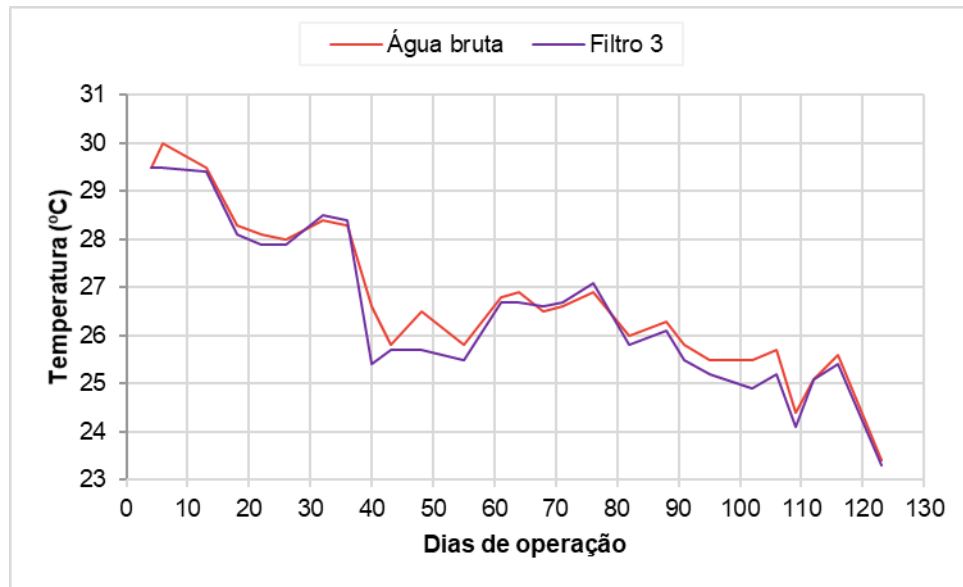
Fonte: Autor (2021).

Figura 9. Temperatura - Água bruta x Filtro 2.



Fonte: Autor (2021).

Figura 10. Temperatura - Água bruta x Filtro 3.



Fonte: Autor (2021).

É possível observar nas Figuras 8, 9 e 10 que há uma pequena redução de temperatura das amostras dos filtros quando comparadas a água bruta. De acordo com Lima (2020), essa redução decorre das leis da termodinâmica, pois a água bruta armazenada no reservatório tende a manter sua temperatura por mais tempo de modo a apresentar maior resistência ao equilíbrio entre a temperatura da água e a temperatura ambiente no laboratório.

Ao comparar as médias da temperatura da água bruta e tratada nos filtros, demonstrada no teste de Wilcoxon, apresentado na Tabela 7, observa-se que houve interferência dos filtros sobre a temperatura da água estudada. Essa influência também foi observada no trabalho de Souza (2020), que utilizou meio filtrante não convencional de maravalha.

Tabela 7. Teste de Wilcoxon para temperatura.

	AB x Filtro 1	AB x Filtro 2	AB x Filtro 3
z	-2,701	-3,062	-3,514
p-valor	0,007	0,002	0,001
Z: estatística de teste; p-valor: probabilidade de significância.			

Fonte: Autor (2021).

Contudo, Mtavangu et al. (2017, apud SOUZA, 2020) em seu estudo com filtros de areia para tratar água em áreas rurais, expõe que a diferença de temperatura entre o ambiente de operação dos filtros e de realização das análises também pode contribuir com a alteração. Sendo assim, ainda que as variações de temperatura influenciem no desenvolvimento da camada biológica, as diferenças de temperatura encontradas nas amostras não causam influencia no tratamento. Isso ocorre, pois, os microrganismos possuem a capacidade de se adaptarem às mudanças de temperatura desde que não haja mudanças extremas de temperatura (ARNOLD; ARCHER; BARKDOLL, 2016).

- **Turbidez**

A Tabela 8 apresenta os dados da estatística descritiva da turbidez para as amostras de água bruta e água tratada nos filtros, além do Índice de Atendimento ao Padrão de Potabilidade (IAPP) e Índice de Decaimento da Qualidade da Água (IDQA). A significância do teste de normalidade foi encontrada a partir do teste Qui-Quadrado.

Tabela 8. Estatística descritiva - turbidez.

	AB	Filtro 1	Filtro 2	Filtro 3
Média	2,63	1,67	2,63	2,63
Intervalo de maior frequência	1 - 2 (29,63%)	0,9 - 2,7 (59,26%)	1,4 - 2,8 (37,04%)	0 - 1,5 (40,75%)
Mediana	2,00	2,00	2,00	2,00
Desvio padrão	1,68	1,25	2,04	2,45
Mínimo	0,00	0,00	0,00	0,00
Máximo	6,00	5,00	8,00	9,00
Significância do teste de normalidade (>0,05)	0,172	0,051	0,008	0,485
IAPP (%)	33,33	48,15	29,63	40,74
IDQA (%)	-	0,00	14,81	11,11

Fonte: Autor (2021).

Já a Tabela 9 traz as mesmas informações estatística descritiva para a eficiência de remoção desse parâmetro. Vale ressaltar que para a estatística da eficiência de remoção desconsiderou-se as observações em que a água tratada apresentava turbidez maior do que a água bruta, visto que estas podem provocar

conclusões errôneas sobre as eficiências dos sistemas de tratamento. No entanto, esses valores foram considerados no cálculo do IDQA (Tabela 8).

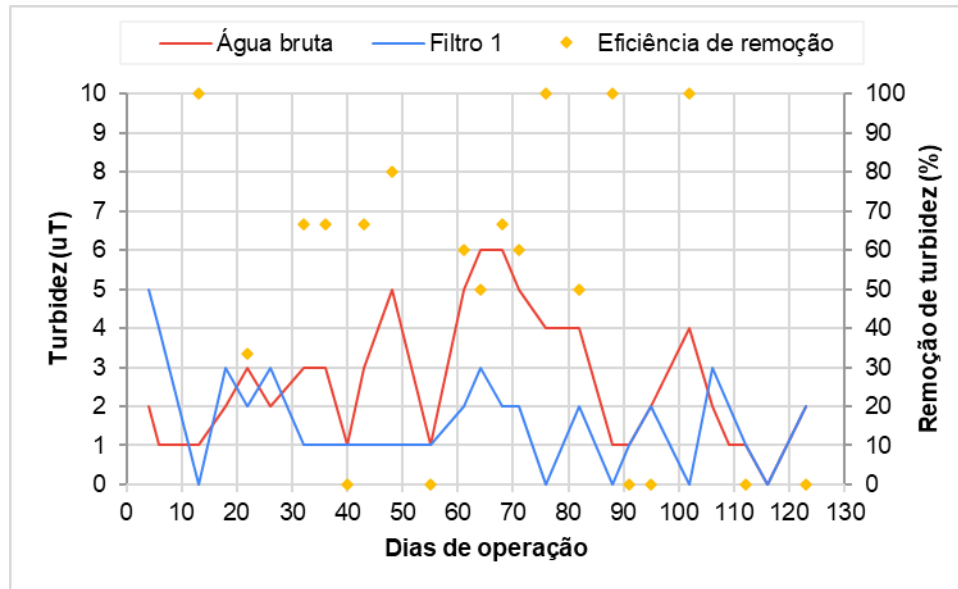
Tabela 9. Estatística descritiva - remoção de turbidez (%).

	Filtro 1	Filtro 2	Filtro 3
Média	50,00	31,25	48,60
Intervalo de maior frequência	50,1 - 66,8 (30%)	0 - 16,7 (35%)	33,4 - 50,1 (25%)
Mediana	60,00	26,67	50,00
Desvio padrão	37,07	34,92	35,76
Mínimo	0,00	0,00	0,00
Máximo	100,00	100,00	100,00
Significância do teste de normalidade (>0,05)	0,001	0,001	0,001

Fonte: Autor (2021).

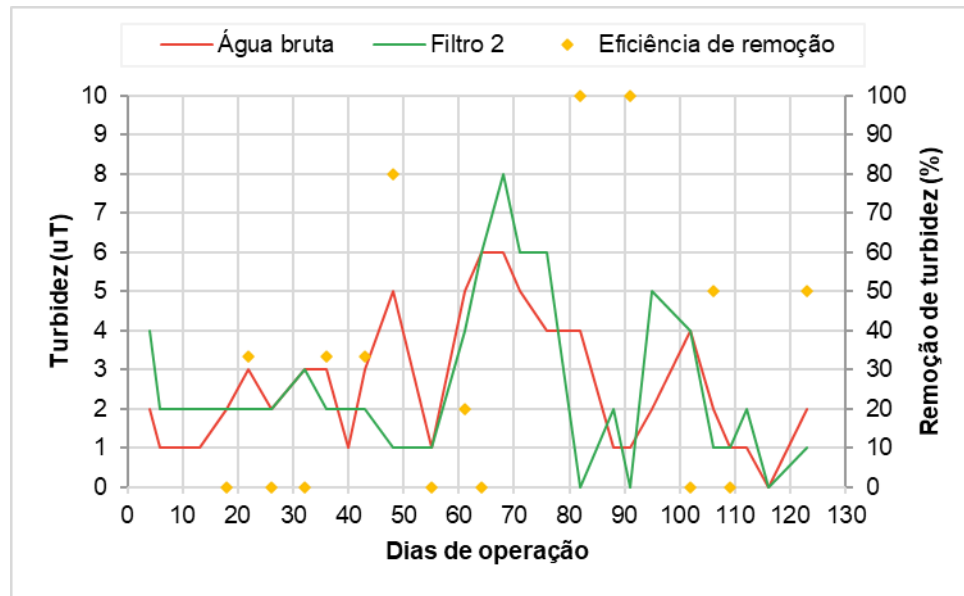
As Figuras 11, 12 e 13 apresentam a variação da turbidez na água bruta e tratada nos Filtros 1, 2 e 3, assim como as eficiências de remoção para cada filtro.

Figura 11. Turbidez - Água bruta x Filtro 1.



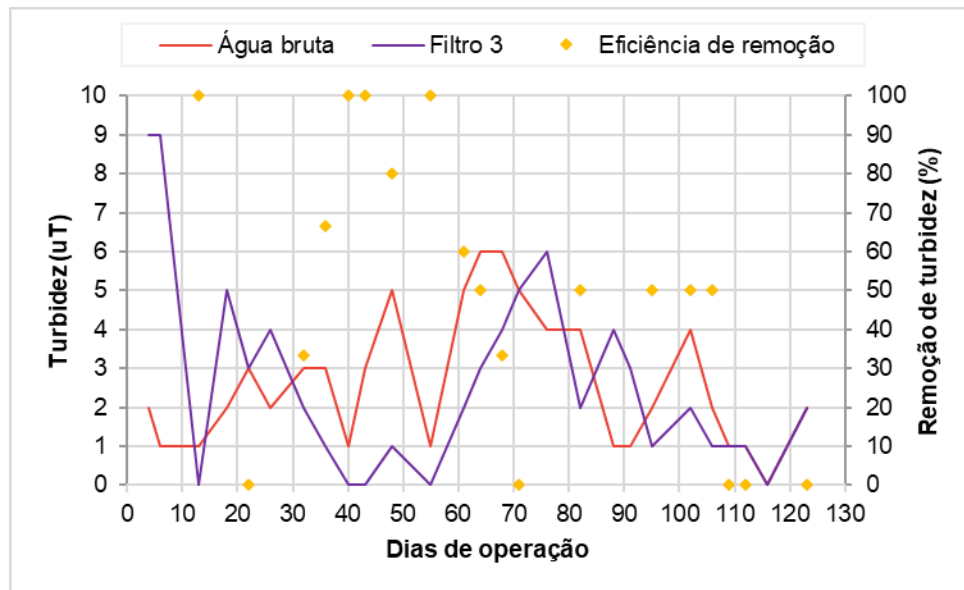
Fonte: Autor (2021).

Figura 12. Turbidez - Água bruta x Filtro 2.



Fonte: Autor (2021).

Figura 13. Turbidez - Água bruta x Filtro 3.



Fonte: Autor (2021).

A variação temporal dos valores de turbidez para a água bruta foi de 0,0 a 6,0 uT, sendo que a maioria das amostras apresentaram turbidez de 1,0 a 2,0 uT. A PRC nº 5 (BRASIL, 2017) determina uma turbidez menor ou igual a 1 uT para qualidade da água na saída de filtros lentos, desta forma, 33,33% das amostras de

água bruta já se enquadravam nesse valor. Após a passagem nos filtros, os valores de turbidez da água variaram de 0,0 a 9,0 uT.

As eficiências de remoção variaram de 0 a 100% em todos os filtros. No entanto, o Filtro 1 apresentou a melhor média de remoção (50%), seguido dos Filtros 3 (48,60%) e 2 (31,25%). Já para a média de turbidez, o filtro que apresentou um menor valor foi o Filtro 1, com meio filtrante de areia misturada com resíduo cerâmico. Os Filtros 2 e 3 obtiveram médias de turbidez idênticas a apresentada para a água bruta. Diferentemente do que aconteceu no trabalho de Lima (2020), que ao utilizar filtros com características próximas das aplicadas este trabalho, mas com meios filtrantes separados entre camadas de areia, obteve a menor média de turbidez no filtro convencional.

Quanto ao IAPP, o Filtro 1 apresentou o melhor resultado, com 48,15% das amostras atendendo as recomendações, seguido do Filtro 3, com 40,74%. Entretanto, constatou-se que nenhum dos filtros apresentaram média de turbidez de acordo com o exigido pela legislação vigente. Souza (2020) destaca que o desempenho negativo apresentado pelos filtros lentos em remover turbidez pode ser atribuído ao fato da lavagem operacional da areia não ter sido suficiente para conferir a funcionalidade desejada aos filtros durante o período de análise.

As comparações estatísticas entre as médias da turbidez da água bruta e da água tratada em cada filtro são apresentadas na Tabela 10.

Tabela 10. Comparação estatística entre as médias de turbidez das amostras (p – Valor).

	AB	Filtro 1	Filtro 2	Filtro 3
Água bruta	-	0,021 ^a	0,707 ^b	1,000 ^a
Filtro 1	0,021 ^a	-	0,052 ^b	0,019 ^a
Filtro 2	0,707 ^b	0,052 ^b	-	0,819 ^b
Filtro 3	1,000 ^a	0,019 ^a	0,819 ^b	-

Fonte: Autor (2021).

Nota-se que não houveram diferenças significativas entre os valores das amostras de água bruta e água tratada, sendo observadas diferenças significativas apenas entre as amostras de água bruta e Filtro 1. Desta forma, verifica-se que o filtro utilizando material não convencional de resíduo cerâmico apresentou melhores resultados do que o convencional, enquanto que o filtro com fibras de coco apresentou resultados semelhantes.

- **Cor aparente**

As Tabelas 11 e 12 apresentadas abaixo contêm dados da estatística descritiva e índices IAPP e IDQA da cor aparente da água bruta e filtrada, e de remoção desse parâmetro, respectivamente. Assim como para a turbidez, desconsiderou-se as observações que retratavam piora da qualidade da água afluente e significância do teste de normalidade foi encontrada a partir do teste Qui-Quadrado.

^a Teste paramétrico “T” pareado: utilizado apenas quando verificado o atendimento à distribuição normal.

^b Teste não paramétrico de Wilcoxon: utilizado quando não verificadas adequações dos resultados à distribuição normal, ou ainda quando necessário comparar variáveis com distribuições normal e não-normal.

Tabela 11. Estatística descritiva - cor aparente.

	AB	Filtro 1	Filtro 2	Filtro 3
Média	42,04	24,48	32,67	33,74
Intervalo de maior frequência	22 - 29,4 (22,23%)	23 - 28 (40,75%)	30,8 - 39,7 (37,04%)	14 - 30 (51,86%)
Mediana	40,00	24,00	33,00	29,00
Desvio padrão	13,47	7,17	12,44	19,66
Mínimo	22,00	8,00	13,00	14,00
Máximo	66,00	38,00	66,00	110,00
Significância do teste de normalidade (>0,05)	0,999	0,984	1,000	1,000
IAPP (%)	0,00	7,41	11,11	3,70
IDQA (%)	-	0,00	0,00	7,41

Fonte: Autor (2021).

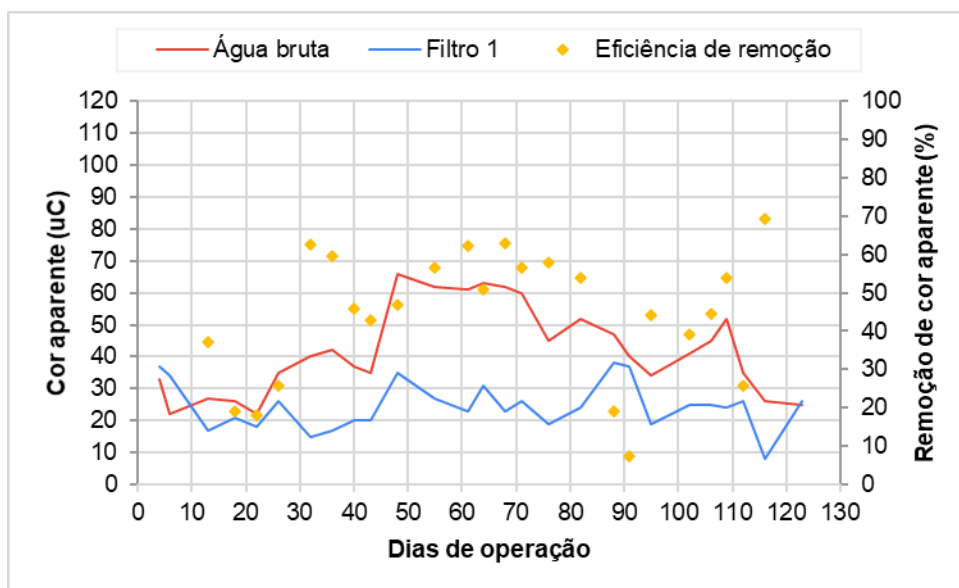
Tabela 12. Estatística descritiva - remoção de cor aparente (%).

	Filtro 1	Filtro 2	Filtro 3
Média	44,24	35,12	38,61
Intervalo de maior frequência	38,4 - 69,3 (72%)	40,2 - 53,6 (20%)	26,4 - 52,8 (40%)
Mediana	46,46	39,24	37,84
Desvio padrão	16,64	22,92	19,35
Mínimo	7,50	0,00	0,00
Máximo	69,23	80,30	78,79
Significância do teste de normalidade (>0,05)	0,800	0,001	0,012

Fonte: Autor (2021).

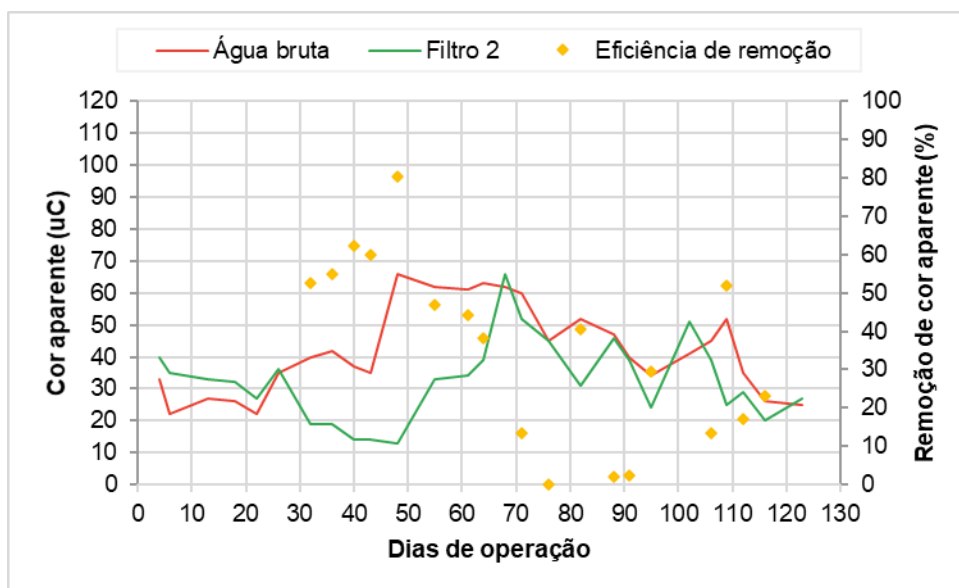
O comportamento temporal da cor aparente da água bruta e tratada é apresentado nas Figuras 14, 15 e 16, bem como as eficiências de remoção para cada filtro.

Figura 14. Cor aparente - Água bruta x Filtro 1.



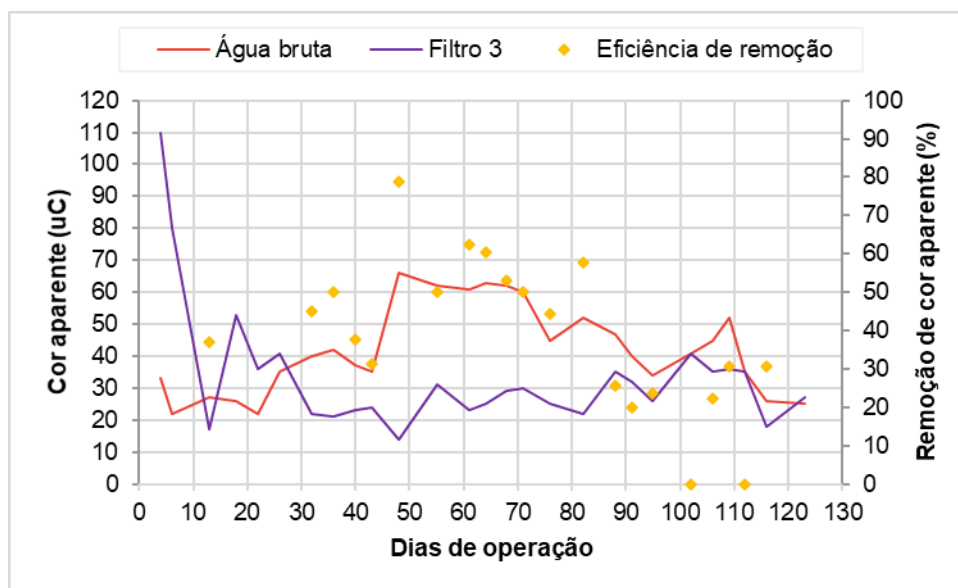
Fonte: Autor (2021).

Figura 15. Cor aparente - Água bruta x Filtro 2.



Fonte: Autor (2021).

Figura 16. Cor aparente - Água bruta x Filtro 3.



Fonte: Autor (2021).

Os valores de cor aparente para a água bruta variaram de 22 a 66 uC, sendo que a maioria das amostras apresentaram valores entre 22 a 29,4 uC. Nenhuma das amostras de água bruta apresentaram valores enquadrados no padrão de qualidade da água, que é menor ou igual a 15 uC, que é o limite máximo permissivo apresentado em Brasil (2017).

Ao observar os valores para a água tratada nos filtros, nota-se que todos os filtros apresentaram redução da média de cor aparente, mostrando a capacidade dos filtros na melhoria desse parâmetro. Apesar de apresentar redução, nenhum dos filtros apresentaram médias dentro da faixa exigida pela legislação vigente. De acordo com o que foi relatado no trabalho de Richter (2009), que mesmo que os filtros lentos fossem constituídos e operados em condições ideais, nesses filtros a remoção de cor é muito baixa e requer uma água bruta com valor inferior a 20 uC.

Os valores entre os filtros variaram de 8 a 110 uC, com o Filtro 1 apresentando a menor média de cor aparente e uma frequência de observações na faixa de 23 a 28 uC, seguido pelo Filtro 2 e 3, na devida ordem. Já no trabalho de Lima (2020), o mesmo obteve médias de cor aparente iguais para os filtros convencional e com resíduo cerâmico. Além disso, as eficiências de remoção variaram de 0 a 80,30% em todos os filtros. As melhores médias de remoções foram

apresentadas no Filtro 1 (44,24%), seguido dos Filtros 3 (38,61%) e 2 (35,12%).

A Tabela 13 apresenta a comparação estatística entre as médias de cor aparente da água bruta e filtrada. Por possuir uma distribuição normal, a comparação foi feita por teste paramétrico “T” pareado.

Tabela 13. Comparação estatística entre as médias de cor aparente das amostras (p – Valor).

	AB	Filtro 1	Filtro 2	Filtro 3
Água bruta	-	0,001	0,005	0,133
Filtro 1	0,001	-	0,002	0,012
Filtro 2	0,005	0,002	-	0,788
Filtro 3	0,133	0,012	0,788	-

Fonte: Autor (2021).

Pode ser observado que as amostras apresentaram diferenças significativas, comprovando o que foi dito anteriormente, que os filtros têm a capacidade de reduzir a cor aparente da água bruta. Quanto a comparação com os valores de água bruta, os Filtros 1 e 2 apresentaram melhores resultados que o filtro convencional, que não apresentou diferenças significativas na comparação. As comparações entre o Filtro 3 com os Filtros 1 e 2 também não foram significativas, demonstrando a diferença entre eles. Desta forma, verifica-se que os filtros com meios filtrantes com materiais não convencionais apresentaram melhores resultados do que os alcançados pelo filtro convencional.

- **Cor verdadeira**

A Tabela 14 exibe os dados da estatística descritiva e os índices IAPP e IDQA para as análises de cor verdadeira das amostras de água bruta e água tratada, enquanto que a Tabela 15 apresenta as eficiências de remoção. Vale ressaltar que, assim como para a turbidez e cor aparente, desconsiderou-se as observações que retratavam piora da qualidade da água afluenta. A significância do teste de normalidade foi encontrada a partir do teste Qui-Quadrado.

Tabela 14. Estatística descritiva - cor verdadeira.

	Água Bruta	Filtro 1	Filtro 2	Filtro 3
Média	20,44	15,44	18,74	14,81
Intervalo de maior frequência	15,8 - 22,2 (29,63%)	18 - 22 (33,34%)	16,4 - 21,1 (29,63%)	13,8 - 18,2 (29,63%)
Mediana	20,00	16,00	18,00	14,00
Desvio padrão	9,46	6,37	7,06	6,25
Mínimo	3,00	2,00	7,00	5,00
Máximo	41,00	26,00	35,00	31,00
Significância do teste de normalidade (>0,05)	0,995	0,918	0,996	0,860
IAPP (%)	18,52	22,22	18,52	25,93
IDQA (%)	-	0,00	18,52	3,70

Fonte: Autor (2021).

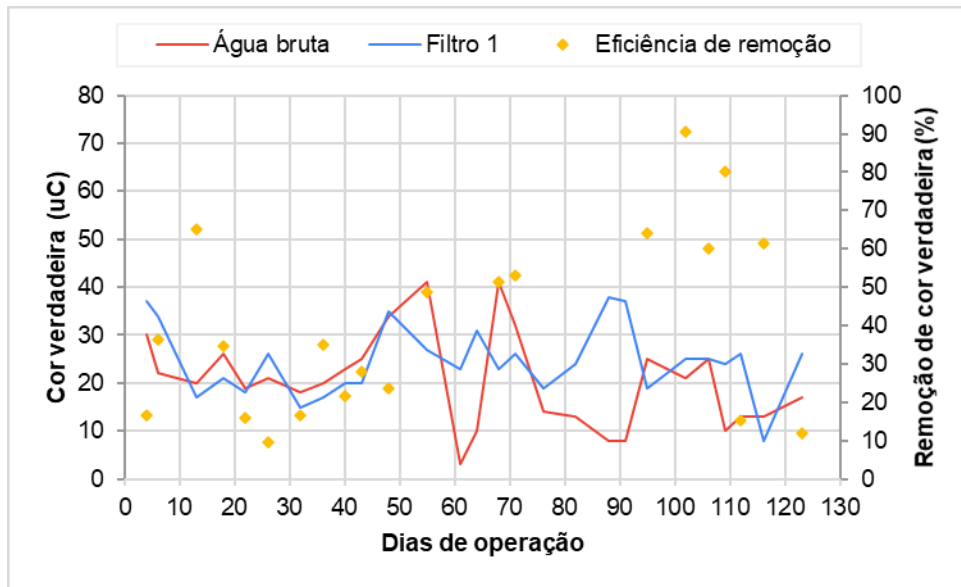
Tabela 15. Estatística descritiva - remoção de cor verdadeira (%).

	Filtro 1	Filtro 2	Filtro 3
Média	39,96	35,12	42,08
Intervalo de maior frequência	9,52 - 23,02 (33,34%)	51,2 - 64 (23,81%)	55,08 - 67,38 (23,81%)
Mediana	35,00	34,38	38,10
Desvio padrão	23,31	23,78	23,35
Mínimo	9,52	0,00	5,88
Máximo	90,48	76,47	79,41
Significância do teste de normalidade (>0,05)	0,133	0,001	0,112

Fonte: Autor (2021).

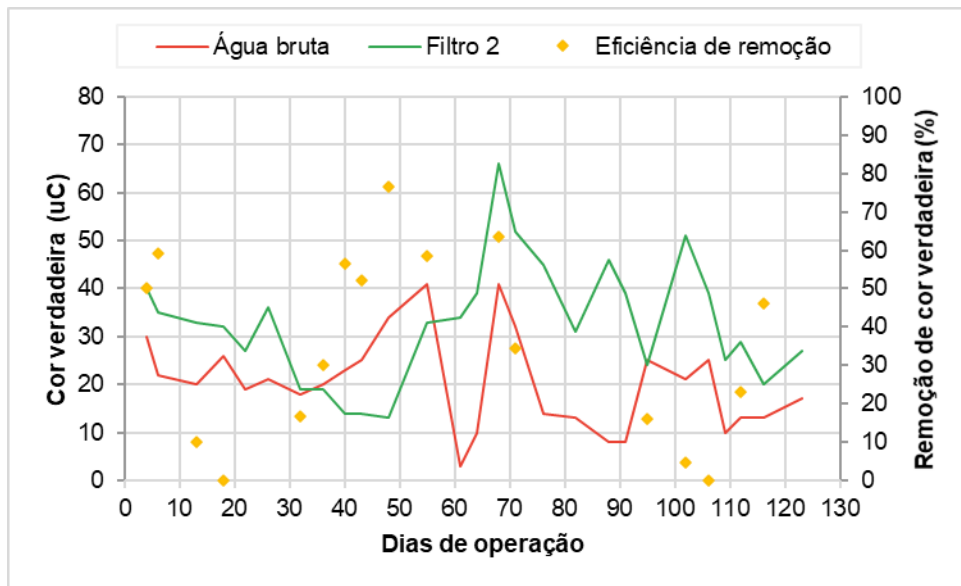
As Figuras 17, 18 e 19 apresentam as observações realizadas para a cor verdadeira das amostras, bem como as eficiências de remoção para cada filtro.

Figura 17. Cor verdadeira - Água bruta x Filtro 1.



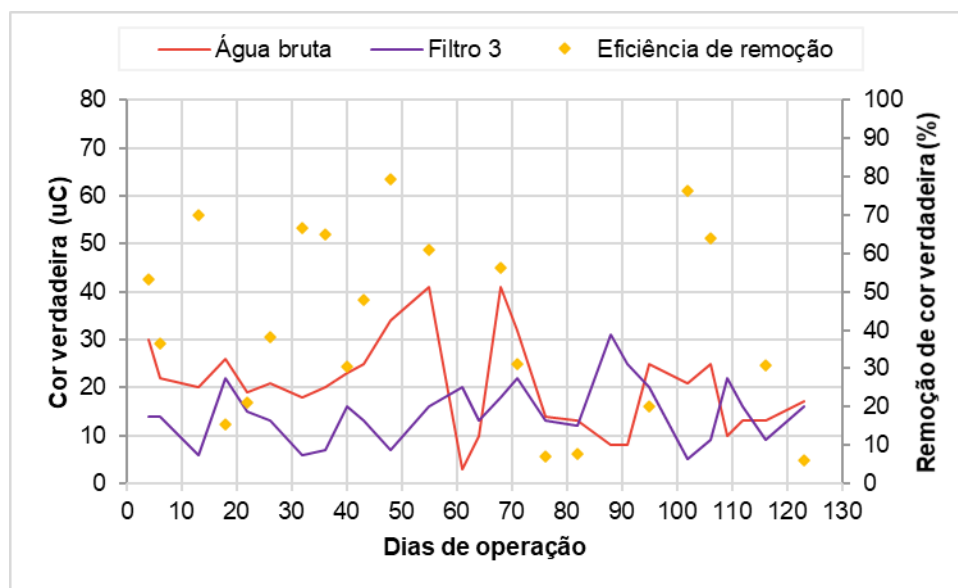
Fonte: Autor (2021).

Figura 18. Cor verdadeira - Água bruta x Filtro 2.



Fonte: Autor (2021).

Figura 19. Cor verdadeira - Água bruta x Filtro 3.



Fonte: Autor (2021).

A variação para a cor verdadeira da água bruta foi de 3 a 41 uC, com a maior parte das amostras apresentando valores entre 15,8 a 22,2 uC. Observa-se ainda que nenhuma das amostras de água bruta apresentaram valores enquadrados no padrão de qualidade da água da PRC nº 5 do MS.

Quanto às amostras da água tratada nos filtros, os valores entre os filtros variaram de 2 a 35 uC. Nota-se ainda que todos os filtros apresentaram redução da média de cor aparente, comprovando a capacidade dos filtros na melhoria desse parâmetro. No entanto, nenhum dos filtros apresentou médias dentro da faixa exigida pela legislação vigente.

As eficiências de remoção variaram de 0,00 a 90,48% em todos os filtros, sendo que as melhores médias de remoções foram apresentadas no filtro convencional (42,08%), seguido dos Filtros 1 (39,96%) e 2 (35,12%). A remoção eficaz das impurezas geralmente é feita por coagulação química, explicando assim o baixo desempenho de filtros lentos na remoção de cor verdadeira (DI BERNARDO; BRANDÃO; HELLER, 1999).

A comparação estatística entre as médias de cor verdadeira da água bruta e tratada foi feita por teste paramétrico “T” pareado e é apresentada na Tabela 16.

Tabela 16. Comparação estatística entre as médias de cor verdadeira das amostras (p – Valor).

	Água bruta	Filtro 1	Filtro 2	Filtro 3
Água bruta	-	0,020	0,516	0,027
Filtro 1	0,020	-	0,073	0,670
Filtro 2	0,516	0,073	-	0,015
Filtro 3	0,027	0,670	0,015	-

Fonte: Autor (2021).

Diante dos resultados da comparação entre as médias da cor verdadeira é possível verificar que foram apresentadas diferenças significativas entre os valores das amostras de água bruta e água tratada para os Filtros 1 e 3. Quando comparado os filtros entre si os Filtros 1 e 3 não apresentaram mudanças significativas. Assim, verifica-se que o filtro utilizando material não convencional de resíduo cerâmico e o filtro convencional apresentaram resultados semelhantes, enquanto que o filtro com fibras de coco apresentou resultados inferiores.

4.2.2. Parâmetros microbiológicos

As análises quanto aos parâmetros microbiológicos foram realizadas para os coliformes totais e termotolerantes. Os valores observados para esses parâmetros são apresentados na Tabela 17. A unidade de medida adotada NMP/100 mL corresponde ao Número Mais Provável por 100 mL.

Tabela 17. Análise de coliformes totais e termotolerantes.

	Água bruta	Filtro 1	Filtro 2	Filtro 3
Coliformes Totais (NMP/100 mL)	$1,6 \times 10^2$	ausente	$8,1 \times 10$	ausente
	$8,1 \times 10^3$	$2,4 \times 10^3$	$2,4 \times 10^3$	$2,4 \times 10^3$
	$7,9 \times 10^3$	$2,4 \times 10^2$	$4,9 \times 10$	$7,9 \times 10$
	$7,9 \times 10^3$	$1,1 \times 10^3$	$2,4 \times 10^2$	$2,4 \times 10^3$
Coliformes Termotolerantes (NMP/100 mL)	$1,6 \times 10^2$	ausente	ausente	ausente
	$5,1 \times 10^3$	$2,4 \times 10^3$	ausente	ausente
	$4,9 \times 10^3$	$1,7 \times 10$	$1,1 \times 10$	$1,1 \times 10$
	$7,9 \times 10^3$	$6,8 \times 10^2$	$1,3 \times 10^2$	$2,4 \times 10^3$

Fonte: Autor (2021).

Tento em vista o pequeno número de observações, não se fez viável a

realização de estatística descritiva. No entanto, as amostras apresentaram baixas concentrações de coliformes totais e termotolerantes, podendo ser observada a remoção dos valores após a passagem da água bruta pelos filtros. As eficiências alcançadas em cada filtro estão indicadas nas Tabelas 18 e 19.

Tabela 18. Eficiências de remoção de coliformes totais.

	Filtro 1	Filtro 2	Filtro 3
Eficiência de remoção de coliformes totais (%)	100,00	49,38	100,00
	70,37	70,37	70,37
	96,96	99,38	99,00
	86,08	96,96	69,62

Fonte: Autor (2021).

Tabela 19. Eficiências de remoção de coliformes termotolerantes.

	Filtro 1	Filtro 2	Filtro 3
Eficiência de remoção de coliformes termotolerantes (%)	100,00	100,00	100,00
	52,94	100,00	100,00
	99,65	99,78	99,78
	91,39	98,35	69,62

Fonte: Autor (2021).

Ao observar os dados acima, é possível notar que todos os filtros apresentaram boa eficiência na remoção dos parâmetros, indicando a presença de comunidades biológicas nos filtros. De forma parecida, Letshwenyo e Lebogang (2019) avaliaram o desempenho de um filtro lento como meio filtrante composto por duas camadas, areia no topo e escória abaixo dela, e observaram valores de 45 a 100% de remoção de coliformes totais e de 95 a 100% para remoção de coliformes termotolerantes.

Assim como no trabalho de Lima (2020), quando se trata dos coliformes totais, o filtro com resíduos cerâmicos apresentou a melhor média para a remoção (88,35%), seguido pelo Filtro 3 (84,75%) e 2 (79,02%). Já para os coliformes termotolerantes, a melhor média na eficiência de remoção foi observada no Filtro 2 (99,53%), seguido pelo Filtro 3 (92,35%) e 1 (86,00%). Observa-se ainda que o filtro com fibras de coco foi mais estável na remoção de coliformes termotolerantes e, segundo Kumar et al. (2019), a aplicação de resíduos orgânicos como camada

filtrante potencializa a remoção de patógenos, devido à elevada área superficial que esses materiais possuem.

Verifica-se também uma variabilidade na concentração de coliformes totais em comparação com os termotolerantes. Essa variação também foi observada por Zipf, Pinheiro e Conegero (2016), sugerindo que os mecanismos de remoção desses parâmetros não são necessariamente idênticos. Desta forma, observa-se que, em média, os filtros com meios filtrantes com materiais não convencionais apresentaram resultados semelhantes aos alcançados pelo filtro convencional.

4.3 Desempenho dos materiais não convencionais

Como observado na revisão sistemática, o uso de materiais não convencionais costuma representar efeitos positivos quando comparados ao filtro convencional e o foco principal dos artigos quanto a eficiência da filtração lenta usando esses materiais está na remoção de turbidez e coliformes totais.

A eficiência na remoção de turbidez apresentou resultados positivos em todos os trabalhos analisados. Jayalath, Miguntanna e Perera (2016) operaram um filtro com areia misturada com tijolo queimado e, ao comparar a eficiência na remoção da turbidez deste filtro com a água bruta, obtiveram eficiência de 90%. De forma semelhante, o filtro utilizando material não convencional de resíduo cerâmico no presente trabalho apresentou melhores resultados do que o convencional. Já o filtro com fibras de coco resultou em valores semelhantes ao convencional para esse parâmetro.

Assim como para a turbidez, a redução de coliformes totais foi significativa em todos os trabalhos analisados, com exemplo de Baig et al. (2011), que utilizou biomassa de cacas de pinus conífera, conhecido como Pinheiro, para modificar o filtro lento e obteve eficiência de remoção de coliformes totais de até 100%, e Mutemi, Hoko e Makurira (2020) que trabalharam com meio filtrante composto por uma mistura de areia com ferro e observaram que a introdução de ferro misturado com areia pode melhorar significativamente a remoção de coliformes. Os três filtros apresentados nesse trabalho exibiram resultados semelhantes quanto a remoção dos coliformes totais, com o filtro com resíduos cerâmicos se mostrando um pouco

mais eficiente que o convencional.

5. Conclusões

Ao utilizar meios filtrantes de materiais não convencionais, buscou-se que os mesmos trouxessem benefícios a filtração lenta, dada a elevada capacidade de adsorção desses materiais, além de encontrar uma alternativa ao descarte dos mesmos. Com base nos resultados alcançados, constata-se que diversos fatores interferem na eficiência de filtros lentos, seja as características dos materiais utilizados ou o desenvolvimento da camada biológica.

A análise da água bruta estudada propiciou a avaliação dos parâmetros monitorados quanto ao atendimento dos padrões de qualidade apresentados pelo Ministério da Saúde, por meio da legislação vigente, assim como a comparação entre os valores para água bruta e água tratada, para que fosse possível analisar a eficiência de tratamento alcançada pelos filtros.

Para o desempenho dos filtros, os testes estatísticos realizados demonstraram a existência de diferenças significativas para temperatura, turbidez, cor aparente e cor verdadeira entre a água bruta e a tratada. Já as comparações entre os filtros não apresentaram diferenças significativas na maioria dos parâmetros analisados, demonstrando que as substituições da areia pelos materiais não convencionais não provocaram perdas de eficiência, confirmando seu emprego.

No geral, o filtro de areia misturada com resíduos cerâmicos foi mais eficiente que o filtro convencional e o filtro de areia misturada com fibras de coco. O filtro de areia misturada com fibras de coco apresentou maior eficiência e estabilidade apenas na remoção de coliformes termotolerantes, já o filtro convencional apontou melhor eficiência na remoção de cor verdadeira. O filtro com resíduos cerâmicos exibiu maior Índice de Atendimento ao Padrão de Potabilidade (IAPP) para turbidez, enquanto que o filtro com fibras de coco obteve maior IAPP para cor aparente e o filtro convencional para cor verdadeira.

Com os resultados obtidos, acredita-se que a capacidade de adsorção dos resíduos cerâmicos contribuíram para remoção de parâmetros físicos, ao passo que a utilização de camada filtrante de material orgânico, no caso das fibras de coco,

auxilia na melhora da atividade biológica e na maior estabilidade no tratamento de águas com microrganismos patogênicos.

Diante da revisão sistemática realizada e das análises experimentais, comprova-se que a utilização de materiais não convencionais na filtração lenta pode trazer benefícios ao tratamento, garantindo o aproveitamento de materiais que inicialmente seriam descartados. Assim, mais estudos são bem-vindos para avaliar o emprego destes materiais, sejam pautados na alteração dos meios filtrantes ou mesmo nas suas características de funcionamento.

6. Perspectivas de futuros trabalhos

Espera-se que os resultados obtidos através deste trabalho possam contribuir para a comunidade acadêmica, através do conhecimento. A pesquisa também poderá assumir outros rumos, desde a alteração nas características de aplicação dos materiais utilizados, ou mesmo utilizando outros materiais não convencionais já que há uma grande variedade de materiais que podem ser aplicados, como visto na revisão sistêmica.

7. Referências bibliográficas

ARNOLD, N.; ARCHER, A.; BARKDOLL, B. Bacterial adaptation and performance of household biosand water filters in differing temperatures. **Water Science and Technology: Water Supply**, v. 16, n. 3, p. 794–801, 2016.

BAIG, S. A., MAHMOOD, Q., NAWAB, B., SHAFGAT, M. N., e Pervez, A. (2011). Improvement of drinking water quality by using plant biomass through household biosand filter – A decentralized approach. **Ecological Engineering**, 37(11), 1842–1848.

BRASIL. 396/2008. **Resolução CONAMA No 396, de 03 de abril de 2008**. 2008.

BRASIL, M. S. 05/2017. **Portaria de Consolidação no 5, de 28 de setembro de 2017**. 2017a, Anexo XX.

BRASIL. **Portaria de Consolidação nº 5. Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde**. 2017.

- BRASIL, D. N. E. R. **Agregados - análise granulométrica**. Rio de Janeiro, 1998.
- DAMASCENO, N. L. de A. **Relatório técnico de perfuração de poços tubulares**. São Cristóvão: Sondar - Hidrogeologia Consultoria e Perfuração Ltda, 2010.
- DI BERNARDO, L.; BRANDÃO, C. C. S.; HELLER, L. **Tratamento de águas de abastecimento por Filtração em Múltiplas Etapas**. Rio de Janeiro: ABES, 1999.
- HELLER, L. et al. Oocistos de *Cryptosporidium* e cistos de *Giardia*: circulação no ambiente e riscos à saúde humana. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, v. 13, n. 2, p. 79–92, 2004.
- Jayalath, C. P. G.; Miguntanna, N. S.; Perera, H. A. K. C. (2016). Burnt Clay Bricks as an Alternative Filter Media for Pebble Matrix Filters (PMF). **Engineer: Journal of the Institution of Engineers**, Sri Lanka, 49(3), 1-9.
- KUMAR, P. et al. Agro-industrial residues as a unique support in a sand filter to enhance the bioactivity to remove microcystin-Leucine aRginine and organics. **Science of The Total Environment**, v. 670, p. 971–981, 2019.
- LETSHWENYO, M. W.; LEBOGANG, L. Assessment of roughing and slow sand filter modified with slag and clinker ash for removal of microorganisms from secondary effluent. **Environmental Technology**, p. 1–12, 2019.
- LIMA, A. J. **Análise comparativa da eficiência de filtros lentos com meios filtrantes convencional e não convencionais**. 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil de Universidade Federal de Sergipe – PROEC/UFS). Universidade federal de Sergipe, São Cristóvão, Sergipe. 2020.
- MURTHA, N. A. **Avaliação da influência de variáveis hidráulicas, parâmetros de projeto e das características da água bruta na eficiência de filtros lentos de areia**. 1998. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1998.
- MUTEMI, S.; HOKO, Z.; MAKURIRA, H. (2020). Investigating feasibility of use of bio-sand filters for household water treatment in Epworth, Zimbabwe. **Physics and Chemistry of the Earth**, 117, 102864.

NASCIMENTO, A. P.; PELEGRINI, R. T.; BRITO, N. N. (2012). Filtração lenta para o tratamento de águas para pequenas comunidades rurais. **REEC - Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, 4(2), 54-58.

PÁDUA, V. L. Soluções alternativas desprovidas de rede. In: **Abastecimento de água para consumo humano**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2010. v. 1p. 418.

RICHTER, C. A. **Água: métodos e tecnologia de tratamento**. São Paulo, SP: Blucher, 2009.

SOUZA, F. H.; TOSCANO, B.; CARNEIRO, C. G.; Sens, M. L. (2017). Diagnóstico e discussão sobre uso da Filtração Lenta para abastecimento público em Santa Catarina, Brasil. **Revista DAE**, 209(66).

SOUZA, L. A. **Influência da lavagem operacional e do sentido do fluxo na eficiência de filtros lentos com camada intermediária de maravalha**. Trabalho de conclusão de curso. Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, Sergipe. 2020.

ZIPF, M. S.; PINHEIRO, I. G.; CONEGERO, M. G. Simplified greywater treatment systems: Slow filters of sand and slate waste followed by granular activated carbon. **Journal of Environmental Management**, v. 176, p. 119–127, 2016.

8. Outras atividades

A partir da revisão sistemática realizada na primeira parte do projeto foi desenvolvido um artigo intitulado “Perspectivas sobre o uso de materiais alternativos no tratamento de água: revisão sistemática desenvolvida em filtros lentos” e o mesmo foi publicado pela Revista Brasileira de Meio Ambiente.

9. Justificativa de alteração no plano de trabalho

A solicitação de alteração no plano de trabalho foi aprovada pela COMPITEC/COMPQ. As partes do projeto que tiveram alterações foram a metodologia e o cronograma:

- **Metodologia**

Camada suporte: após o aprofundamento de informações em artigos, optou-

se por confinar a camada de brita (camada suporte) entre mantas não tecida, de modo a não ter meio filtrante preenchendo os seus vazios.

Período de análise: por causa da pandemia, não foi possível ter uma amostragem de 12 meses, como previsto no projeto. Assim, o período de monitoramento foi de 4 meses. Já quanto à frequência de análises dos parâmetros (pH, cor aparente, cor verdadeira, turbidez e temperatura), que no projeto estava prevista para três vezes semanais, teve uma redução para duas vezes semanais. Os demais parâmetros permaneceram com a mesma frequência.

Comparação de resultados: inicialmente, o projeto previa a comparação trimestral, com o objetivo de trazer características sazonais. Contudo, devido ao cenário pandêmico, os resultados foram comparados mensalmente durante os quatro meses de monitoramento dos parâmetros.

Revisão sistemática: considerando o cenário pandêmico que gerou a impossibilidade de atividades laboratoriais, optou-se, como medida compensatória, pela alteração da forma que seria feita a revisão da literatura, a qual inicialmente era do tipo narrativa passando a ser do tipo sistemática.

- **Cronograma**

O cronograma apresentado no projeto continha 12 meses para desenvolvimento da pesquisa. Contudo, como supracitado, a parte experimental passou a ter 4 meses de duração. Assim, houveram mudanças na disposição do tempo para a realização das etapas. A revisão sistemática e a pesquisa bibliográfica foram realizadas entre agosto de 2020 e abril de 2021. Já a parte experimental teve início em março de 2021.