

## I-1470 –SISTEMA SIMPLIFICADO DE TRATAMENTO DE ÁGUA EM UM ACAMPAMENTO DE DESABRIGADOS EM OURO PRETO – MG

### **Paulo de Castro Vieira<sup>(1)</sup>**

Doutor e mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais, graduado em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade do Leste de Minas Gerais. Professor no departamento de Engenharia Urbana na Universidade Federal de Ouro Preto.

### **Natasha Rodrigues Vitorino Carvalho Tenorio**

Graduanda em Engenharia Urbana pela Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto. Bolsista do projeto Saneamento Sustentável.

### **Ana Luiza Silva Santos Félix**

Mestranda em Saneamento pela UFMG e Graduada em Engenharia Urbana pela Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto.

### **Martin Seidl**

Engenheiro Ambiental, Doutor em Ciências Ambientais pela Escola Nacional de Engenharia Civil da Universidade de Paris (ENPC). Pesquisador sênior LEESU ENPC /UPEC França

### **Vitória Queiroz Borges**

Graduanda em Engenharia Urbana pela Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto. Bolsista do projeto Saneamento Sustentável.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Universidade Federal de Ouro Preto, Escola de Minas, *Campus* Universitário Morro do Cruzeiro, S/N, Ouro Preto, MG - CEP: 35400-000 - Brasil - Tel.: +55 (31) 3559-1159 - e-mail: [paulovieira@ufop.edu.br](mailto:paulovieira@ufop.edu.br)

## **RESUMO**

Este trabalho teve como objetivo elaborar e implantar de forma participativa um sistema simplificado de tratamento de água para uma solução alternativa coletiva de abastecimento de água de um acampamento de desabrigados no município de Ouro Preto – MG. O sistema de tratamento foi concebido de forma participativa com os moradores do acampamento a partir das etapas de levantamento das demandas de água, caracterização da qualidade e quantidade de água do manancial utilizado, projeto e construção das instalações. O sistema simplificado de tratamento implantado foi composto pelas etapas de filtração em múltiplas etapas e desinfecção por cloração. A etapa de filtração foi constituída com duas linhas em paralelo, cada uma com um pré-filtro dinâmico seguido de um filtro lento de dupla camada de areia e carvão antracito. As instalações foram construídas com recursos e materiais locais. A partida do sistema ocorreu com as etapas de filtração até que se desenvolvesse uma camada consistente de biofilme na superfície do meio filtrante dos filtros lentos. Posteriormente foi iniciada a etapa de desinfecção com clorador de pastilha, constituindo assim a operação completa do sistema de tratamento. O sistema foi monitorado em todo momento por parâmetros aferidos em campo e em laboratório. Destaca-se que após a implantação do tratamento completo, os valores dos parâmetros de controle de qualidade de água monitorados – cloro residual livre, cor aparente, turbidez, pH, STD, coliformes totais e E. coli – atenderam os padrões de qualidade de água para o consumo humano. Diante dos resultados obtidos acredita-se que o sistema simplificado de tratamento implantado melhorou a qualidade da água utilizada no acampamento, possibilitando uma melhora das condições de segurança hídrica dos desabrigados.

**PALAVRAS-CHAVE:** População em vulnerabilidade, Tratamento, Sistema Simplificado e Filtração Lenta.

## **INTRODUÇÃO**

As áreas urbanas com assentamentos humanos precários que não são reconhecidos nos instrumentos e demais ações urbanísticas, geralmente apresentam as piores condições de saneamento básico devido à inexistência de serviços públicos essenciais como o abastecimento de água e saneamento, conforme relatado por Sá e Vieira (2020) e Felix e Vieira (2019), situação que foi agravada com a Pandemia da Covid-19.

Portanto, para cumprir com o direito humano fundamental de acesso a água potável de forma universal em assentamentos precários (ONU, 2010), muitas vezes torna-se necessário buscar soluções alternativas ao sistema público existente. Neste sentido, os sistemas descentralizados com tecnologias simplificadas de tratamento e fornecimento de água potável são considerados soluções viáveis e consolidadas no Brasil como no mundo (BRASIL, 2019; OMS, 2017; HUISMAN; WOOD, 1974).

As tecnologias simplificadas de tratamento de água são caracterizadas pelo menor grau de requisitos construtivos, mecanização e treinamento operacional, quando comparados as tecnologias convencionais, podendo ainda ter a redução ou não utilização de produtos químicos, reduzindo assim os custos de implantação e controle (DI BERNARDO; DANTAS, 2005). Para o efetivo atendimento aos padrões sanitários, tais tecnologias se limitam ao uso de mananciais que possuem boa qualidade da água e menor variabilidade durante períodos extremos.

Dentre estas tecnologias, destaca-se a filtração lenta (FL), que não possuem as etapas de coagulação, floculação e sedimentação, eliminando assim o uso de produtos químicos (HELLER; PADUA, 1999). A etapa de clarificação da água ocorre no topo e ao longo do meio filtrante por meio de combinação de processos físico-químicos e biológicos que promovem a retenção de partículas sólidas, a remoção de substâncias químicas (orgânicas e inorgânicas) e dos microrganismos patogênicos (FREITAS, 2022; HASAN, 2020). A FL, precedida de pré-filtração com baixas taxas de aplicação em meios filtrantes constituídos de pedregulhos de diversas granulometrias, denominada Filtração em Múltiplas Etapas (FiME) favorece a manutenção da boa qualidade da água distribuída (DI BERNARDO ET AL, 1999).

No entanto, mesmo com o decaimento de microrganismos patogênicos na filtração, torna-se obrigatória a etapa final de desinfecção, para inativação e prevenção do crescimento de microrganismos na rede de distribuição, sendo a cloração, a técnica mais utilizada. O processo de desinfecção mais aplicado nos sistemas de abastecimento de água, em todo o mundo, é o que emprega o cloro ou os produtos à base de cloro como agentes desinfetantes. Existe uma grande quantidade de equipamentos para dosagem do cloro, desde os mais simples até os mais sofisticados (BRASIL, 2021; 2014).

O município de Ouro Preto possui localidades urbanas desprovidas de infraestruturas e serviços públicos com habitações que são reconhecidas nos instrumentos urbanísticos - zoneamento urbano – como áreas de interesse social, necessária a regularização urbanística. Além destas, o município possui em outras localidades assentamentos em condições precárias que não são reconhecidas formalmente. Estas áreas são constituídas pelo processo de crescimento desordenado por uma população de extrema vulnerabilidade social, tendo como principal fator a carência de políticas públicas de habitação de interesse social.

Dentre os assentamentos precários e irregulares que ainda não são reconhecidos nos instrumentos urbanísticos do município de Ouro Preto, destaca-se o mais recente deles, o acampamento Novo Taquaral, estudo de caso deste trabalho, na qual foram desenvolvidos de forma participativa um conjunto de ações de melhorias de saneamento básico, dentre elas um sistema simplificado de tratamento de água.

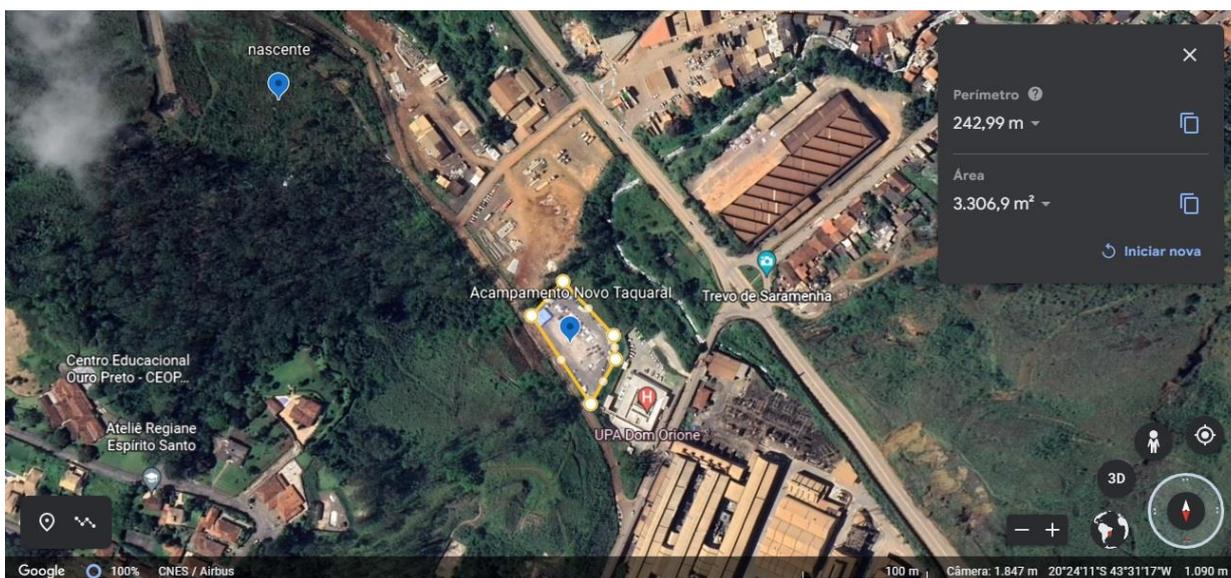
Neste sentido, este trabalho teve como objetivo projetar e implantar de forma participativa um sistema simplificado de tratamento de água em acampamento de desabrigados no município de Ouro Preto – MG por meio de levantamento das demandas e da qualidade de água do manancial, assim como pela elaboração de projeto, construção e controle operacional das unidades de tratamento.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

O acampamento Novo Taquaral localiza-se no bairro Saramenha, área urbana de Ouro Preto - MG. O acampamento é organizado pelo MTST – Chico Rei e encontra-se instalado desde janeiro de 2022 por pessoas que reivindicam o direito à moradia, dentre elas, moradores do bairro Taquaral que foram desabrigados durante os eventos geológicos de deslizamentos e de recalques do solo ocorridos no período chuvoso precedente. A população residente no acampamento no momento variou entre 25 e 30 moradores. Nas Figuras 1 e 2 são apresentadas a vista parcial e imagem de satélite do acampamento Novo Taquaral.



**Figura 1: Vista parcial do acampamento Novo Taquaral (registro em fevereiro de 2023).**



**Figura 2: Imagem de satélite do acampamento Novo Taquaral com a localização da nascente utilizada para o abastecimento de água (registro em fevereiro de 2023).**

O sistema de tratamento da água utilizada no acampamento Novo Taquaral foi concebido de forma participativa com seus moradores a partir das etapas de levantamento das demandas de água, caracterização da qualidade e quantidade de água do manancial utilizado, projeto e construção das instalações. O trabalho foi coordenado pelo grupo de pesquisa e extensão “Saneamento Sustentável” da UFOP em parceria com o Movimento dos Trabalhadores Sem Teto (MTST).

A primeira etapa do trabalho foi constituída por um diagnóstico da demanda (população, finalidades e consumos) e de procedimentos adotados para os usos da água no acampamento, seguindo as recomendações apresentadas em OMS (2017). Os levantamentos foram realizados por meio de visitas de campo, reuniões e oficina com os moradores. Estas atividades foram realizadas de julho a setembro de 2022.

Na etapa seguinte foi realizada a caracterização da fonte de água utilizada no acampamento por meio de informações sobre as condições de qualidade e quantidade de água. Os parâmetros de qualidade analisadas foram: temperatura, pH, oxigênio dissolvido (OD), condutividade elétrica (CE), turbidez, cor (aparente e real), DBO, coliformes totais (CT) e *Escherichia coli* (*E. coli*). As análises de qualidade foram realizadas seguindo os procedimentos descritos em AWWA/APHA/WEF (2005). A vazão de água do manancial foi medida pelo método volumétrico utilizando um balde de 10 litros e um béquer graduado de um litro (ABNT, 1995).

Para cada ponto monitorado foram coletadas amostras simples utilizando balde coletor, estocando a amostra em garrafas de polietileno (quimicamente inertes e vedadas) e armazenando-as em bolsa térmica até a chegada ao laboratório quando foram preservadas em freezer em temperatura de 4° C. As coletas e as análises dos parâmetros de qualidade foram realizadas seguindo as metodologias descritas em APHA (2005). Os procedimentos laboratoriais foram realizados nos laboratórios de Saneamento Básico (Deciv) E de aulas práticas do NUGEO/DEURB da Escola de Minas – UFOP.

A área e captação foi avaliada quanto as condições de uso e ocupação do solo e possíveis relações com as condições de qualidade da água por meio de pesquisa de campo e documental.

Após a caracterização da fonte de água utilizada no acampamento foi elaborado o projeto do sistema de tratamento de água em atendimento as normativas sanitária e ambiental em vigor (BRASIL, 2021; BRASIL, 2007). Para a seleção da tecnologia foram consideradas os dados sobre a demandas de água, as características do manancial, os recursos humanos, técnicos e financeiros disponíveis para a implantação e operação, conforme recomendações apresentadas em Heller e Pádua (2010) e Di Bernardo e Dantas (2005), buscando assim uma tecnologia social quanto a satisfatória eficiência do tratamento, quanto ao menor custo de investimento na implantação e operação. Os dimensionamentos físicos e hidráulicos dos componentes foram adaptados de informações e métodos apresentadas em Brasil (2014), ABNT (1992), Di Bernardo et al (1999) e Barrett et al (1991).

A construção e montagem do sistema de tratamento foram realizadas de forma participativa com os moradores do acampamento seguindo as recomendações apresentadas por Barrett et al (1991) e Huisman e Wood (1974). Para a montagem dos componentes utilizou-se materiais locais, convencionais de instalações hidráulicas prediais, como tubos, conexões e caixas d'água em PVC, com o intuito de servir de referência para outras localidades. Os materiais utilizados como meios filtrantes e suportes foram preparados (limpos e secos), separados em peneiras comuns (areia fina/fubá, arroz e café) e caracterizados em laboratório quanto a granulometria. Foram realizados testes de estanqueidade nas estruturas dos filtros (construídos em PVC). Na Figura 3 são apresentadas imagens das etapas de montagem do sistema,



**Figura 3:** Imagens da montagem do sistema: tubos de PVC para os filtros; instalação de boias de nível nos filtros; tubo perfurado para drenagem de fundo dos filtros e limpeza dos meios filtrantes de diferentes granulometrias

Com a partida do sistema foi realizado o controle operacional de forma participativa com os moradores do acampamento por meio do monitoramento de qualidade da água e manutenção das unidades de tratamento. Os parâmetros de qualidade de água foram analisados na entrada do sistema e após as unidades de tratamento com objetivo em avaliar o desempenho de cada uma e o atendimento aos padrões de qualidade. Foram incluídos aos parâmetros listados para a caracterização do manancial, o cloro residual livre, seguindo a mesma referência para coleta, preservação e análise das análises de qualidade.

A frequência de monitoramento seguiu as orientações da Portaria de potabilidade do Ministério da Saúde Nº 888 (BRASIL, 2021) para as soluções alternativas coletivas com captação superficial (Anexo 15), devido o enquadramento do abastecimento de água do acampamento Novo Taquaral. A vazão de entrada no sistema foi monitorada diariamente pelo método volumétrico, descrito anteriormente. Foram realizadas também as atividades de manutenção do sistema, reparo de tubulações e conexões, reposição de agente desinfetante, limpeza das unidades (captação, filtros e reservatórios) e reparos da tubulação de adução. Os moradores do acampamento foram treinados para colaborar as coletas de água, análises de campo e as manutenções.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A água utilizada no assentamento provém de uma captação em uma nascente que encontra-se localizada a 366 m. A captação inicialmente era constituída por uma tubulação adutora constituída de mangueiras de polietileno com trechos em diâmetros de 22 e 28 mm. O terreno localizado a nascente encontra-se cercado e com vegetação rasteira (capim braquiária), arbustos de pequeno porte e eucaliptos. O ponto de captação da água fica próximo da surgência principal de água (nascente principal), localizado no centro do terreno com acessibilidade reduzida devido a elevada densidade da vegetação. O terreno não apresenta bota-fora de resíduos. As edificações vizinhas estão situadas a 300 m de distância. Apesar de não possuir atividades antrópicas no terreno, eventualmente foram encontrados animais pastando.

No acampamento foram identificados usos da água captada para as atividades essenciais de higiene pessoal, preparação de alimentos, limpezas de utensílios domésticos, lavanderia, alimentação de animais domésticos e irrigação de horta. Não foi possível determinar o consumo médio diário de água devido à falta de mecanismos adequados de medição. No entanto, foram medidas as vazões captadas no acampamento, ao final da tubulação adutora resultando em valores médios de 0,068 L/s (período seco) e de 0,103 L/min (período chuvoso) que podem indicar uma estimativa máxima de consumo. No ponto de captação foram observadas as vazões médias nos períodos seco (agosto) e chuvoso (novembro) de 19,8 L/min e de 30,1 L/min, respectivamente.

Para populações desprovidas de ligações domiciliares abastecidas com torneiras públicas, lavanderia pública, sanitário e banheiro público, condições que enquadram as instalações sanitárias instaladas no acampamento, o consumo médio per capita recomenda deverá ser de 60 a 100 L/hab.dia (BRASIL, 2019). Para populações transitórias (visitantes) em instalações como acampamentos o consumo de água adotado recomendado é de 20 L/hab.d (OMS, 2017). Portanto, considerando a população de projeto e um consumo per capita de 80L/hab.dia, a demanda de água diária resultante foi de 2000 L.

As condições de qualidade da água utilizada no acampamento foram levantadas a partir de quatro coletas realizadas ao final da tubulação adutora, sendo três realizadas em condições de tempo seco nos meses de agosto e setembro de 2022, sem chuva nas últimas 24 horas antes da coleta e outras três coletas no período chuvoso em novembro de 2022 com a presença de chuva nas 24 horas antecedentes a coleta. Os valores das médias aritméticas e desvio padrão dos parâmetros de qualidade monitorados da água captada são apresentados na Tabela 1.

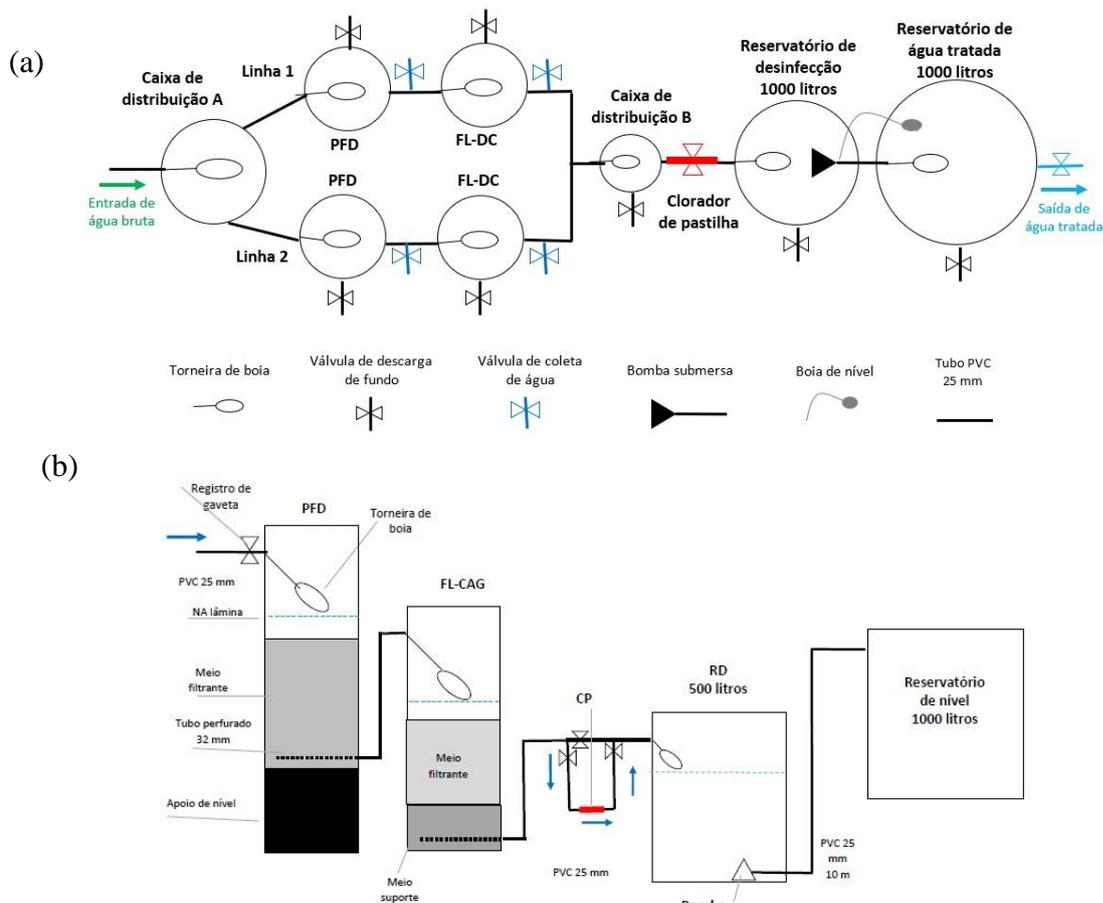
Os parâmetros monitorados de qualidade da água captada apresentaram valores inferiores aos padrões e valores máximos permitidos para corpos hídricos de água doce de classe 1 estabelecido na resolução Conama Nº 357/2005. Para esta classe, o uso da água para o consumo humano deverá cumprir no mínimo com o tratamento simplificado, constituído pelas etapas de filtração, desinfecção e correção de pH. Ainda que a maioria dos parâmetros monitorados apresentaram valores inferiores aos valores máximos permitidos para a água de consumo humano, com exceção da E.coli, o tratamento deverá contemplar a filtração, visto que o manancial é superficial, bem como com etapa de desinfecção com adição de cloro residual, segundo a Portaria de potabilidade do Ministério da Saúde Nº 888 (BRASIL, 2021).

**Tabela 1: Valores médios e desvio padrão (X valores) dos parâmetros de qualidade do manancial monitorados em condições de tempo seco (sem chuva) e chuvoso (chuvas em 24 horas).**

Parâmetros	Tempo seco	Tempo chuvoso
pH	7,41 (0,17)	7,11 (0,55)
OD (mg/L)	7,25 (0,55)	6,60 (0,39)
CE (µS/cm)	11,87 (1,40)	10,44 (0,54)
STD (mg/L)	7,59 (0,89)	6,68 (0,34)
Turbidez (uT)	1,84 (0,78)	1,94 (1,99)
Cor aparente (uC)	12 (-)	11,44 (9,07)
Cor real (uC)	-	6,33 (8,75)
DBO (mg/L)	-	0,8
Coliformes totais (NMP/100ml)	Presença	>2419
E. coli (NMP/100ml)	Presença	96,65 (23,15)

Legenda: \* desvio padrão (X valores).

Em função dos dados de caracterização foi projetado um sistema simplificado de tratamento da água composto pelas etapas de clarificação por FiME e desinfecção por cloração, ilustrado nas Figura 4. A etapa de clarificação foi projetada e implantada com duas linhas em paralelo, cada uma com um pré-filtro dinâmico (PFD) seguido de um filtro lento de dupla camada de areia e carvão antracito (FL-DC). A unidade de desinfecção foi constituída por um clorador de pastilha desenvolvido a partir de modelos apresentados na literatura (BRASIL, 2014). O clorador foi instalado na tubulação após a caixa de passagem de recebimento das efluentes das duas linhas da etapa de filtração.



**Figura 4: Esquemas ilustrativos do sistema: (a) vista em planta e (b) vista longitudinal.**

Na Figura 5 é apresentado o sistema de tratamento simplificado instalado no acampamento Novo Taquaral.

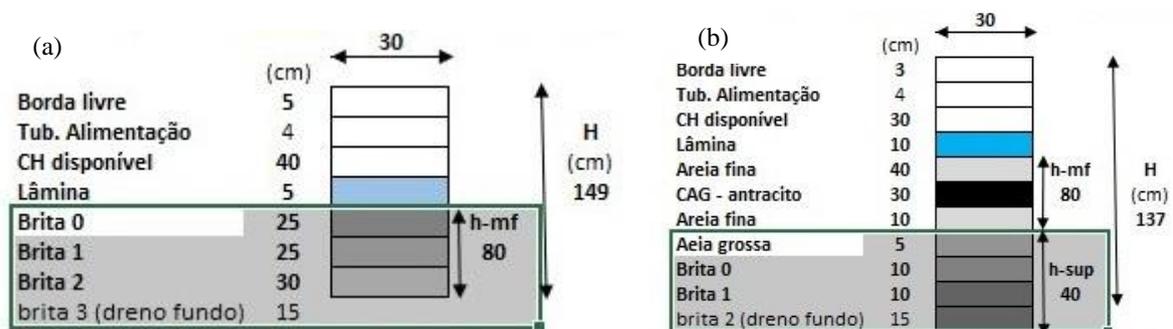


**Figura 5: Vista lateral do sistema de tratamento de água implantado.**

O PFD foi constituído de pedregulhos (seixos rolados de rios) com subcamadas: (i) superior de 25 cm com pedrisco tamanho zero (4,8 a 9,5 mm); (ii) primeira camada intermediária de 25 cm com pedrisco tamanho 1 (9,5 a 19 mm); e (iii) camada inferior de 30 cm com pedrisco tamanho 2 (9,5 a 19 mm). Como meio suporte foi utilizada uma camada de 15 cm com pedrisco tamanho 3 (25 a 50 mm).

O FL-DC foi constituído por subcamadas: (i) superior de 40 cm de areia fina (D60=0,42 mm; CD=2,8); (ii) primeira camada intermediária de 40 cm de antracito (D60=1,5 mm; CD=3,0); (iii) segunda camada intermediária de 10 cm de areia fina; (iv) camada de transição de 5 cm de areia grossa (D60=0,90 mm; CD=2,1). As camadas de meio suporte utilizadas foram: (i) superior de 10 cm com pedrisco tamanho zero (4,8 a 9,5 mm); (ii) camada intermediária de 10 cm com pedrisco tamanho 1 (9,5 a 19 mm); e (iii) camada inferior de 15 cm com pedrisco tamanho 2 (9,5 a 19 mm).

Na Figura 6 são apresentadas as ilustrações das composições e espessuras das camadas dos meios filtrantes e suportes utilizados nos filtros.



**Figura 6: Esquemas ilustrativos das camadas filtrantes e dos meios suportes: (a) PFD e (b) FL.**

Os PFD e os FL foram construídos em tubos de PVC de 300 mm. Para uma vazão de projeto de 0,023 L/s (80 L/hab.dia) a taxa de filtração para cada filtro lento resultante foi de 14,2 m/d.

Os resultados dos ensaios de granulometria e dos índices físicos resultantes das areias fina e grossa e do carvão antracito utilizados no FL-DC são apresentados na Tabela 2. As areias (fina e grossa) e os pedregulhos (seixos rolados de rio) foram adquiridos em depósitos de materiais de construção local e o carvão antracito foi adquirido em fornecedor externo.

**Tabela 2: Resultados dos ensaios de granulometria e dos índices físicos dos meios filtrantes.**

Parâmetros	Areia fina	Carvão antracito	Areia grossa
Tamanho dos grãos (mm)	0,08 a 2,0	0,08 a 2,0	0,08 a 4,75
Diâmetro efetivo -D10 (mm)	0,15	0,70	0,30
D60* (mm)	0,42	1,50	0,90
D90** (mm)	0,60	1,90	1,10
Percentual que passa na peneira 0,10 mm (%)	3,0	2,22	0,22
Coefficiente de desuniformidade (CU)	2,8	2,1	3,0
Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	2,567	1,632	2,612
Porosidade inicial média (cm <sup>3</sup> )	0,44	0,47	0,43

Legenda: \*D60 diâmetro de abertura de peneira em que passam 60% dos grãos, em massa. \*\* D90 diâmetro de abertura de peneira em que passam 90% dos grãos, em massa.

O sistema de tratamento foi operado por 32 dias, iniciando em 27/02/2023 com a partida dos filtros das duas linhas da FiME (pré-filtração dinâmica e filtração lenta). Aguardou-se até o dia 17/03/2023, ou seja, por 19 dias para a formação de uma camada consistente de biofilme na superfície do primeiro meio filtrante (areia) dos FL's para iniciar o procedimento de cloração. Dessa forma o sistema foi operado com todas as etapas de tratamento (FiME e Desinfecção) até o dia 30/03/2023, ou seja, por 13 dias.

A cloração foi realizada por meio de pastilhas de cloro para o consumo humano repostas a cada 4 a 5 dias no clorador. As pastilhas de cloro utilizadas possuíam uma composição de ácido tricloro isocianúrico a 100% e teor de cloro ativo de 90% da maraca CLiM 90 – hidrodomi. Para manter uma concentração de 2 mg/L de cloro em nove mil litros de água, o fabricante recomenda o uso de uma pastilha de 20 gramas em um tempo de 2 minutos.

Destaca-se que o biofilme na superfície da areia, camada inicial de meio filtrante dos FL's no décimo nono dia apresentava uma espessura aproximada de 0,7 a 1,0 cm. No trigésimo segundo dia a espessura do biofilme mediu entre 1,5 e 1,8 cm nos FL's. Na Figura 7 é apresentada um registro do biofilme no FL no trigésimo segundo dia de operação.

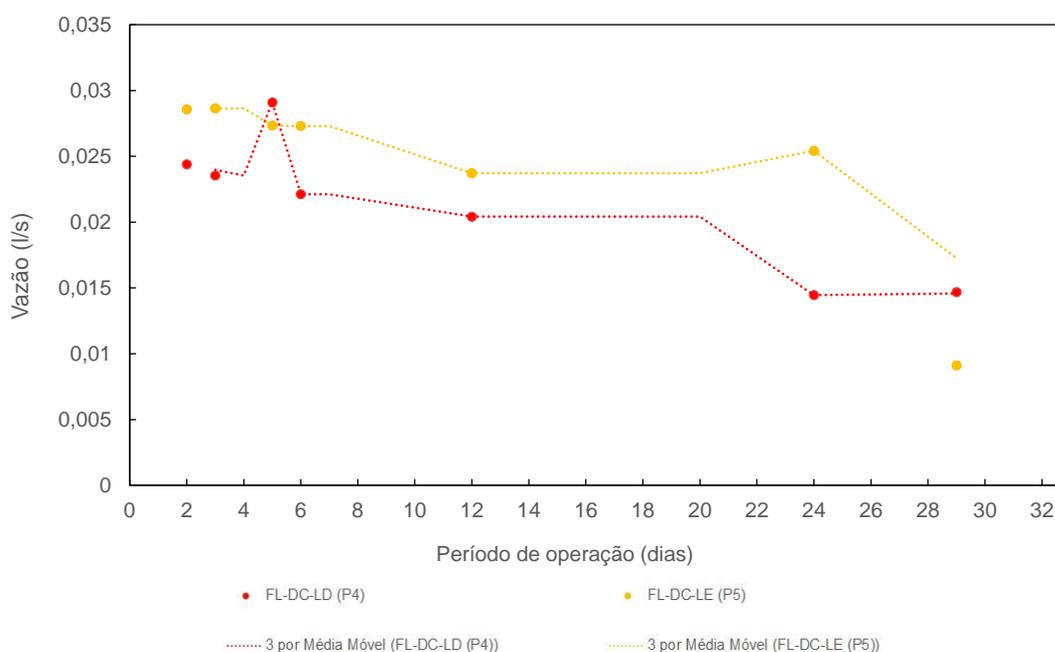


Figura 7: Biofilme no FL no trigésimo segundo dia de operação.

Durante todo o período de operação o sistema de filtração operou com vazão e taxa declinante reguladas pelas boias de nível instaladas nos filtros para as cargas hidráulicas disponíveis nos filtros lentos (30 cm). Na medida que as perdas de cargas nos filtros lentos elevaram devido ao tratamento da água a taxa de filtração declinava. Destaca-se que o sistema de tratamento funcionou em função da demanda de água diária no acampamento. Portanto, ao longo do dia o sistema funcionou em bateladas. Cada batelada correspondia o período de enchimento do tanque de contato que quando cheio, a água tratada (filtrada e clorada) era bombeada para o reservatório superior (ponto de consumo dos moradores).

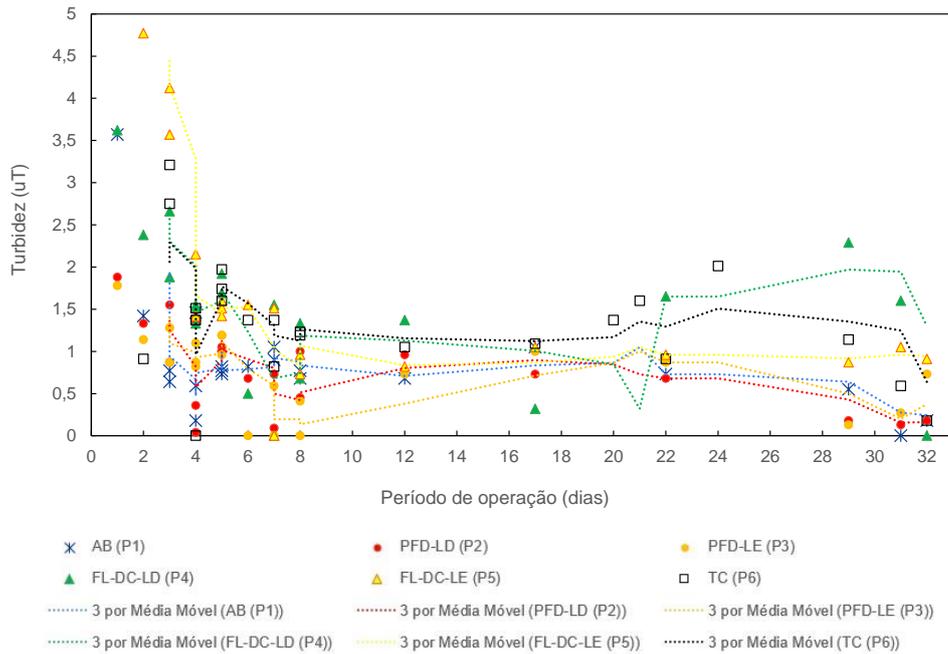
Observa-se que durante todo o período de operação o sistema de tratamento em alguns momentos ficou sem entrada de água devido a demanda para outras finalidades no acampamento. Durante estes momentos que o sistema de tratamento ficou sem o recebimento de água, os filtros mantiveram água em seus interiores correspondentes as cargas hidráulicas disponíveis – 50 cm nos PFD's e 20 cm nos FL's.

Os filtros iniciaram com taxas de filtração de 35 m/d, declinando até 6 e 9 m/d após os 32 dias de operação. A vazão de água tratada na entrada do tanque de contato variou de 0,013 a 0,030 l/s, correspondendo a uma vazão diária potencial (24 horas/dia) de 1,12 m<sup>3</sup>/d e 2,55 m<sup>3</sup>/d. Na Figura 8 é apresentada a série temporal das vazões monitoradas nos filtros lentos durante os 32 dias de operação.



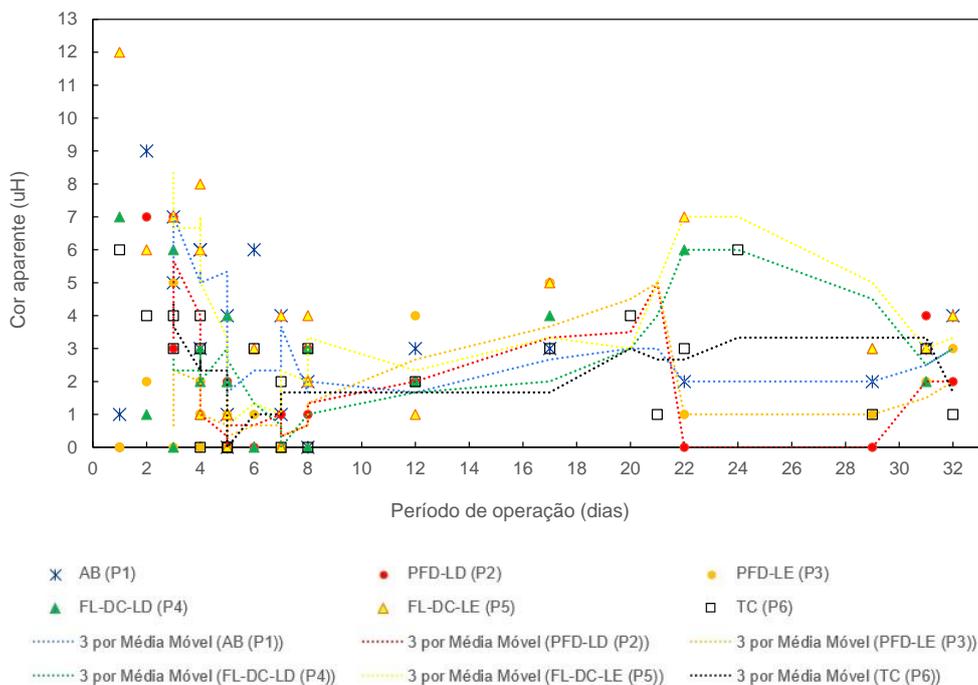
**Figura 8: Série temporal de vazões nos FL's.**

A série temporal (com média móvel de 3 termos) dos valores de turbidez da água bruta e dos efluentes das unidades de tratamento observadas ao longo de todo o período investigado (32 dias) são apresentadas na Figura 9. Pôde ser observado inicialmente uma redução contínua dos valores de turbidez nos efluentes dos filtros lentos e da água tratada até sexto dia de operação, sendo que os valores sofreram poucas variações até o vigésimo dia. Ocorreu uma elevação dos valores da água tratada entre os dias 20 e 24 da operação, na qual podem ter sido motivados devido ao manuseio da operação e manutenção da bomba localizada no ponto de coleta da água tratada (tanque de contato).



**Figura 9: Série temporal dos de turbidez da água bruta e dos efluentes das unidades de tratamento.**

Na Figura 10 é apresentada a série temporal dos valores de cor aparente da água bruta e dos efluentes das unidades de tratamento monitoradas durante os 32 dias de operação do sistema de tratamento. Coincidente com os valores de turbidez os resultados de cor aparente dos efluentes dos FL's e do tanque de contato foram reduzindo gradativamente até o sexto dia de operação. Logos os valore de cor foram elevando gradativamente até o vigésimo dia de operação. Acredita-se que estas variações possam estar relacionadas com a capacidade dos FL's devido as condições de operação impostas (taxas de aplicação e paradas no sistema).



**Figura 10: Série temporal dos valores de cor aparente da água bruta e dos efluentes das unidades de tratamento.**

Na Tabela 3 são apresentados os dados de desempenho do sistema de tratamento implantado no acampamento Novo Taquaral. Os resultados médios e de percentil 95% (X valor) obtidos foram referentes a um período de 13 dias operação do sistema funcionando com todas as etapas de tratamento (FiME e Desinfecção), totalizando em até oito campanhas de coleta.

**Tabela 3: Valores médios e percentil 95% (X valores) dos parâmetros de qualidade monitorados na água bruta e nos efluentes de cada etapa do sistema de tratamento – 13 dias operação.**

	AB	PFD-LD	PFD-LE	FL-LD	FL-LE	TC-S
<b>Temperatura (°C)</b>	29,3 (30)	26 (31,2)	26 (31,2)	25,3 (29,4)	26 (31,2)	<b>25,6 (32,4)</b>
<b>pH</b>	6,2 (6,3)	6,0 (6,2)	6,0 (6,1)	6,4 (6,5)	6,3 (6,4)	<b>6,4 (6,7)</b>
<b>Cor aparente (uH)</b>	2,75 (3,85)	1,5 (3,85)	1,75 (2,85)	3,75 (5,7)	4,25 (6,5)	<b>2,71 (5,4)</b>
<b>Turbidez (uT)</b>	0,4 (0,7)	0,3 (0,6)	0,5 (0,8)	1,4 (2,2)	0,9 (1,0)	<b>1,1 (1,9)</b>
<b>Cond. Elétrica</b>	33,1 (65)	15,7 (16,5)	15,6 (16,7)	31,6 (40)	27 (38,4)	<b>26,5 (37)</b>
<b>STD (mg/l)</b>	21,2 (41,6)	10,1 (10,6)	10 (10,7)	20,2 (25,6)	17,3 (24,6)	<b>16,9 (23,7)</b>
					<b>Cloro residual (mg/l)</b>	<b>1,4 (1,8 - 0,6)*</b>
					<b>Coliformes totais (ausência em 100 ml)</b>	<b>100%</b>
					<b>E. coli (ausência em 100 ml)</b>	<b>100%</b>

Legenda: AB: água bruta; TC-S: saída do tanque de contato de cloração (próximo à entrada da bomba); \* (P95% - P5%).

Segundo a Portaria de potabilidade de água para o consumo humano (BRASIL, 2021) toda água para o consumo humano fornecida de forma coletiva deverá passar por processo de desinfecção, que no caso do sistema de tratamento do acampamento Novo Taquaral foi realizado por meio de cloração com pastilhas. A água tratada em seu ponto de consumo deverá ter no mínimo a concentração de 0,2 mg/L de cloro residual livre e a concentração máxima recomenda de até 5,0 mg/L. Dessa forma, os resultados de cloro residual livre observados na saída do tratamento e ponto de consumo da água no acampamento (tanque de contato) estiveram dentro dos valores estabelecidos na portaria.

Para o controle do processo de desinfecção da água por meio da cloração devem ser mantidos os tempos de contato das concentrações residuais de cloro livre tanque de contato, em função dos valores de pH e temperatura, conforme estabelecidos na portaria de potabilidade. Para os dados médios observados de temperatura 25,3° C e de pH 6,3 da água na entrada do tanque de contato, e do residual de cloro livre de 1,4 mg/L na saída do tanque de contato, o tempo de contato recomendado para ocorrer a eficiência da desinfecção deveria ser 7 a 8 minutos. Para as concentrações mínimas de residual de cloro livre observada (0,6 mg/L), os valores de tempo de contato da água no tanque de contato deveria ser de 14 a 17 minutos.

Considerando a vazão média na entrada do tanque de contato de 87 litros por hora e o volume de 450 litros do tanque de contato para ocorrer o bombeamento para a caixa superior, o tempo de residência médio da água no tanque de contato resultou em 5,1 hora. Dessa forma, o tempo de contato do residual de cloro livre com a água filtrada no tanque de contato foi superior ao valor mínimo recomendado, possibilitando assim a eficiência do processo de desinfecção.

Para atender o padrão de qualidade microbiológica da água potável, a Portaria de potabilidade (BRASIL, 2021) determina que as soluções alternativas coletivas de abastecimento de água que utilizam mananciais superficiais, como no caso do tratamento de água do acampamento Novo Taquaral devem realizar o monitoramento mensal de Escherichia coli no(s) ponto(s) de captação de água. Caso seja identificada média geométrica móvel dos últimos 12 meses de monitoramento maior ou igual a 1.000 Escherichia coli/100mL, deve-se avaliar a eficiência do tratamento de água por meio do monitoramento de esporos de bactérias aeróbias, cistos de Giardia spp. e oocistos de Cryptosporidium spp.

Neste sentido, devido os resultados de caracterização da água bruta ter apresentado valores de E. coli inferiores a 1.000 NMP/100 ml, a qualidade microbiológica da água tratada foi verificada por meio do controle da presença e ausência de coliformes totais (CT) na saída do tratamento e a E. coli no ponto de

consumo, após a etapa de desinfecção com a pastilha de cloro. O monitoramento de CT e E. coli foi realizado a partir da implementação da etapa de desinfecção (pastilhas de cloro) no décimo nono dia de operação. Os resultados de CT e E. coli indicaram ausência nas amostras coletadas.

Para a garantia complementar as exigências relativas aos indicadores microbiológicos da qualidade microbiológica, a Portaria de potabilidade (BRASIL, 2021) determina que o tratamento deverá atender o padrão de turbidez de até 5,0 uT (VMP) qualquer ponto de consumo da água e que após a filtração lenta o VMP é de 1,0 uT para 95% das amostras (o restante deve ser até 2,0 uT).

Para o padrão de turbidez pós-filtração lenta, um dos filtros lentos, o FL-LD apresentou resultado de percentil 95% acima do valor estabelecido pela norma. Acredita-se que um dos motivos pode ter sido devido à taxa de filtração operada que é considerada superior as taxas recomendadas para FL's de camada única de areia, 6 m/d (ABNT, 1992) e de dupla camada de areia e antracito de 12 m/d (DI BERNARDO e DANTAS, 2005).

No entanto, acredita-se os que resultados de turbidez do filtro FL-LD não influenciaram na qualidade final da água tratada enquanto ao padrão de turbidez, visto que os valores observados na água tratada atenderam ao padrão para os pontos de consumo e também para a água pós-filtração já que que o outro filtro lento (FL-LE) obteve resultados satisfatórios estabelecidos pela Portaria de potabilidade.

Em relação ao padrão organoléptico de potabilidade estabelecido na Portaria de potabilidade (BRASIL, 2021) observou-se que os resultados obtidos de cor aparente (2,71 uH), sólidos dissolvidos totais (16,9 mg STD/L) e turbidez (1,1 uT) estiveram em conformidade com os seus padrões de 15 uH, 500 mg STD/L e 5 uT, respectivamente.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A respeito das condições do manancial foi observado que a vazão de captação garante a demanda de água para os usos requeridos no acampamento, considerando que se trata de uma solução alternativa coletiva (sem rede), na qual recomenda-se o per capita de 80 l/hab.dia. A vazão captada representa aproximadamente 22% da vazão da nascente nas condições de menor disponibilidade hídrica, período seco (medida em agosto). Destaca-se ainda que, a captação pode ser considerada de uso insignificante, pois capta vazão inferior a 1 l/s e tem como finalidade o consumo humano e a dessedentação de animais.

Os parâmetros de qualidade de água captada não apresentaram alterações significativas para as diferentes condições de tempo monitoradas (seco e chuvoso), ainda que as concentrações tenham se elevado nas amostras coletadas durante e logo após as chuvas. Esta condição pode indicar uma menor suscetibilidade de deterioração da qualidade da água devido a sazonalidade, o que torna o manancial mais confiável.

Em baixas concentrações de substâncias suspensas e dissolvidas na água, como no caso do manancial em questão, a FiME constituída por filtros lentos precedidos de filtros de pedras é reconhecida como uma tecnologia que possui desempenho sanitário satisfatório. No entanto, o risco sanitário só deverá ser controlado com a etapa de desinfecção pelo processo de cloração. Para avaliação do desempenho do sistema e o controle da qualidade da água tratada será realizado o monitoramento conforme a normativa sanitária.

Os resultados dos parâmetros de controle de qualidade de água monitorados – cloro residual livre, cor aparente, turbidez, pH, STD, coliformes totais e E. coli – no efluente final do tratamento implantado no acampamento Novo Taquaral atenderam os padrões de qualidade de água para o consumo humano. Diante dos resultados obtidos acredita-se que o sistema simplificado de tratamento implantado melhorou a qualidade da água utilizada no acampamento, possibilitando uma melhora das condições de segurança hídrica dos desabrigados.

Como recomendação de atendimento a normativa de potabilidade torna-se necessária a realização das análises das demais substâncias de qualidade da água, assim como manter a operação e manutenção das instalações do sistema de tratamento no acampamento.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 12216: Projetos de estações de tratamento de água para abastecimento público. 2a ed. Rio de Janeiro, 1992.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). Medição de vazão em efluentes líquidos e corpos receptores – escoamento livre, NBR nº 13.403. Rio de Janeiro, 1995.
3. APHA. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22 ed. Washington: American Public Health Association, 2012. 1496 p.
4. BARRETT, J.M.; BRYCK, J.; COLLINS, M.R.; JANONIS, B.A.; LOGSDON, G.S. Manual of Design for Slow Sand Filtration. AWWA Research Foundation and American Water Works Association. Denver, 1991.
5. BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. Manual de Saneamento. Fundação Nacional de Saúde. 4. ed. Brasília: Funasa, 2019.
6. BRASIL. Ministério da Saúde. FUNASA, F. N. DE S. Manual de Cloração de Água em Pequenas Comunidades Utilizando o Clorador Simplificado Desenvolvido pela Funasa. p. 40, 2014.
7. DI BERNARDO, L.; DANTAS, Â. D. B. Métodos e Técnicas de Tratamento de Água. 2. ed. 2005.
8. DI BERNARDO, L.; BRANDÃO, C.C.S.; HELLER, L. Tratamento de Águas de Abastecimento por Filtração em Múltiplas Etapas. (Ed.) PROSAB-Programa de Pesquisa em Saneamento Básico. ABES–Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro.1999.
9. FÉLIX, A. L. S. S.; VALENTE, L. M.; VIEIRA, P. de C. Avaliação das condições do saneamento básico em localidades com área de interesse social no município de Ouro Preto. 30º Congresso ABES. p. 1-13, 2019.
10. FREITAS, B.L.S. et al. A critical overview of household slow sand filters for water treatment. Review. vol 208. Water Research. 2022.
11. HASAN, H.A.; MUHAMMAD, M.H.; ISMAIL, N.I. A review of biological drinking water treatment technologies for contaminants removal from polluted water resources. vol 33. Journal of Water Process Engineering. 2020.
12. HUISMAN, L.; WOOD, W.E. Slow Sand Filtration. Organização Mundial de Saúde (OMS). WHO Library Cataloguing-in-Publication Data. Geneva, 1974.
13. ONU. Resolução A/RES/64/292: O Direito Humano à Água e Saneamento. [online], 28 jul. 2010.
14. ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE (OMS). Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first addendum. WHO Library Cataloguing-in-Publication Data. 2017.
15. SÁ, R. V. O.; VIEIRA, P. de C. Avaliação das condições de saneamento básico em áreas de interesse social do município de Ouro Preto. Cidades + Resilientes. 192-210 p. 2020.