

NOTA TÉCNICA CT-SAÚDE nº 56/2021

Assunto: Orientações para o tratamento da água em Soluções Alternativas Coletivas – SAC e em Soluções Alternativas Individuais – SAI que abastecem a população direta e indiretamente impactada pelo rompimento da barragem de Fundão, em Mariana-MG.

I. PREMISSAS

1. Considerando que a Câmara Técnica de Saúde, instituída através da Deliberação nº 67, de 09 de maio de 2017, é o órgão consultivo do Comitê Interfederativo responsável por orientar, acompanhar, monitorar e fiscalizar as atividades do Programa de Apoio à Saúde Física e Mental da População Impactada, e as ações relativas ao monitoramento da qualidade da água para o consumo humano, previstas no Termo de Transação e Ajustamento de Conduta (TTAC) entre União, os estados de Minas Gerais e Espírito Santo, e Samarco/Vale/BHP.
2. Considerando que a Fundação Renova é responsável pela reparação dos danos causados pelo rompimento da barragem de Fundão, em Mariana (MG), entre os quais o abastecimento de água para consumo humano;
3. Considerando que compete ao Ministério da Saúde, por meio da Secretaria de Vigilância em Saúde (SVS/MS), promover e acompanhar a vigilância da qualidade da água para consumo humano, em articulação com as Secretarias de Saúde dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios e respectivos responsáveis pelo controle da qualidade da água;
4. Considerando que compete à Secretaria de Vigilância em Saúde (SVS/MS), estabelecer diretrizes da vigilância da qualidade da água para consumo humano a serem implementadas pelos Estados, Distrito Federal e Municípios, respeitados os princípios do SUS.
5. Considerando que no Brasil, "Toda água destinada ao consumo humano, distribuída coletivamente por meio de sistema, solução alternativa coletiva de abastecimento de água ou carro-pipa, deve ser objeto de controle e vigilância da qualidade da água" e "Toda água destinada ao consumo humano proveniente de solução alternativa individual de abastecimento de água está sujeita à vigilância da qualidade da água" (Portaria GM/MS nº 888, de 04 de maio de 2021, que altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5/2017);

6. Considerando que o setor saúde trabalha com o conceito de risco adicional à saúde, devido ao fato de muitos dos agravos e doenças ocasionados por exposição a substâncias químicas, ao longo dos anos, poderem não ser comprovados pelo estabelecimento denexo causal;
7. Considerando a Deliberação CIF nº 487, cujo propósito ressalta que não se está a exigir a causalidade a ser fixada entre o evento e os danos à saúde seja aquela efetiva, uma vez que tal relação conforme previsão expressa no TTAC, é aquela derivada do risco;

A presente nota técnica tem como objetivo orientar o tratamento adequado da água à população localizada nos municípios direta e indiretamente impactados pelo rompimento da barragem de Fundão, em Mariana (MG), e abastecida por meio de SAC e SAI, sem ou com tratamento.

II. CONTEXTUALIZAÇÃO

O monitoramento da qualidade da água destinada ao consumo humano é uma ação estratégica, com o intuito de subsidiar a implantação de melhorias em sistemas de abastecimento de água e soluções alternativas, bem como outras ações que garantam água para consumo humano com qualidade, a fim de minimizar os riscos à saúde associados ao consumo da água que não atenda ao padrão de potabilidade, estabelecido pelo Ministério da Saúde, e então contribuir para a promoção da saúde e a prevenção de doenças e agravos de veiculação hídrica, reduzindo a morbimortalidade.

A definição de diretrizes para a realização do monitoramento da qualidade da água para consumo humano, provenientes dos sistemas de abastecimento de água e das soluções alternativas (coletivas e individuais) utilizadas pela população diretamente e indiretamente impactada pelo rompimento da barragem de Fundão, em Mariana (MG), foram estabelecidas no Plano de Monitoramento da Qualidade da Água para Consumo Humano – PMQACH, no âmbito da Câmara Técnica de Saúde (CT-Saúde), do Comitê Interfederativo (CIF), cujas bases mínimas foram definidas através da Deliberação CIF nº 95/2017 e da Nota Técnica nº 10/2017 da CT-Saúde, e inclui a metodologia de coleta e análise das amostras, o período de monitoramento, os parâmetros que devem ser monitorados, sua frequência, locais e pontos de coleta, além do formato para disponibilização e divulgação das informações.

Assim, a Fundação Renova apresentou versões do Plano de Monitoramento da Qualidade da Água para Consumo Humano – PMQACH para atender às Deliberações do CIF nº 95/2017, CIF nº

129/2017, CIF nº 198/2018, CIF nº 247/2018 e CIF nº 265/2019, bem como às Notas Técnicas nº 10/2017, nº 12/2017, nº 07/2018, nº 08/2018, nº 11/2018, nº 16/2019 e nº 25/2020 da CT-Saúde.

Após a análise das informações constantes dos laudos de qualidade da água, entre os anos de 2019 e 2020, foi possível observar que os pontos de coleta do tipo SAI e SAC merecem atenção imediata, por conter substâncias que estão em desacordo com o padrão de potabilidade brasileiro, conforme definido na Portaria GM/MS nº 888, de 04 de maio de 2021.

III. CONSIDERAÇÕES SOBRE OS RESULTADOS DA QUALIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO

Os resultados do monitoramento da qualidade da água para consumo humano disponibilizados pela Tommasi Ambiental, laboratório contratado pela Fundação Renova para execução das coletas e análises no âmbito do PMQACH, demonstraram que, pelo menos, 2% dos laudos emitidos para SAC com tratamento, 21% para SAC sem tratamento e 25% para SAI (sem tratamento), merecem atenção no quesito presença de metais pesados, além da insuficiência no residual de cloro, presença de Coliformes Totais e *Escherichia coli* (*E. coli*).

Com relação às SAC com tratamento, localizadas nos municípios de Colatina, Marilândia e Governador Valadares, cujos mananciais de captação da água ocorrem no rio Doce, em Colatina e em poço, o parâmetro identificado acima do Valor Máximo Permitido (VMP) para todas as SAC, foi o Alumínio. Para os demais, houve ocorrência de Bário (saída do tratamento SAC - Cia do Gelo, Governador Valadares, em novembro de 2019), Coliformes Totais (saída do tratamento SAC Bonisenha, Marilândia, em julho de 2019) e Trihalometanos (saída do tratamento SAC Frisa, Colatina, em novembro de 2019).

Dos 62 laudos emitidos para as SAC com tratamento do município de Resplendor, os parâmetros em desacordo com a legislação foram: um laudo (~2,0%) fora do padrão para Amônia (como NH₃), 18 laudos (29%) com baixo residual de cloro e três laudos (5%) com presença de Coliformes Totais.

Adicionalmente, verificou-se a presença de Bário Total (4,0%) e em um laudo a presença de Mercúrio Total (~2,0%) no SAC Laticínio, Colatina, em coleta realizada no dia 18 de junho de 2019.

Dos 322 laudos relativos às SAC sem tratamento, localizados nos municípios de Baixo Guandu (manancial de captação subterrâneo, poço), Bugre (manancial de captação subterrâneo, poço), Colatina (manancial de captação subterrâneo, poço), Fernandes Tourinho (manancial de captação

subterrâneo e superficial, poço e cisterna – poço raso), Governador Valadares, São Mateus (manancial de captação subterrâneo, poço), Linhares (manancial de captação subterrâneo, poço), Marilândia (manancial de captação subterrâneo e superficial, poço e nascente), Mariana (manancial de captação superficial, nascente e córrego), São Pedro dos Ferros (manancial de captação subterrâneo, poço) e Santa Cruz do Escalvado (manancial de captação subterrâneo, poço), verificou-se a presença Coliformes Totais em 75% dos casos, além do residual de cloro estar insatisfatório. Com relação a última informação, questiona-se a possibilidade de os usuários realizarem a desinfecção intradomiciliar, tendo em vista que a SAC não possui desinfecção e ainda assim apresentou resquícios de cloro.

A presença de *E. coli* foi constatada em cerca de 30 % dos laudos apresentados para SAC sem tratamento (67 laudos). Como exemplo, listam-se a SAC Sítio Santo Antônio de Pedras, Mariana, e a SAC Escola Estadual de São Pedro dos Ferros, São Pedro dos Ferros, em setembro e novembro do ano de 2019, respectivamente. Em janeiro de 2020, verificou a presença de *E. coli* nas SAC Willian Alencar, Batista, Marilândia e na SAC Sítio Santo Antônio, Ponte do Gama, Mariana. Já em fevereiro de 2020, a presença de *E. coli* foi constatada na SAC Sítio Fava, Ponte do Gama, Mariana.

Dos laudos emitidos para SAC sem tratamento, 30% apresentaram teor de Ferro Total acima do VMP; 35% apresentaram teor de Cor acima do VMP, 9% registraram a presença de Manganês Total, 0,3% constataram a presença de Níquel Total, 2,2% para Cádmiio Total, 0,62% para Chumbo Total e um laudo positivo para Zinco Total, em Linhares, no poço da SAC Pousada Camping da Praia, Regência, em 28 de novembro de 2019.

Cerca de 6% dos laudos emitidos para SAC sem tratamento registraram a presença de Alumínio, nos municípios de Linhares, Marilândia, Mariana, Santa Cruz do Escalvado e São Pedro dos Ferros. Em 17% dos laudos emitidos para SAC sem tratamento verificou-se que o valor de pH está abaixo da faixa recomendada pela legislação. Constatou-se a presença de aproximadamente 2,0% para Amônia (como NH₃), cerca de 3,5% para Surfactantes e 0,6% para Trihalometanos. Outra substância observada acima do VMP foi o Nitrato (como N) em 4,3% dos laudos pertencentes ao município de Marilândia.

Os laudos relacionados à SAI, sem tratamento, se apresentam em maior quantitativo (1.796 unidades) quando comparados às SAC (com e sem tratamento) e estão distribuídos em 29 municípios: Aimorés, Alpercata, Aracruz, Baixo Guandu, Barra Longa, Belo Oriente, Bugre, Caratinga, Colatina, Fernandes Tourinho, Galiléia, Governador Valadares, Itueta, Linhares, Mariana, Marilândia, Naque,

Periquito, Ponte Nova, Resplendor, Rio Casca, Rio Doce, Santana do Paraíso, São Jose do Goiabal, São Mateus, São Pedro dos Ferros, Sem Peixe, Sobrália e Tumiritinga.

Destes, mais de 70% possuem captação exclusivamente subterrânea, por meio de poços. É oportuno comentar que em situações em que o poço se tem maior vulnerabilidade, sobretudo no contexto de contaminação do corpo hídrico superficial. O município de Belo Oriente e Santana do Paraíso realizam a captação por meio de poços e cisternas. Os municípios de Sobrália e Governador Valadares realizam a captação da água por meio de poços e minas. No município de Galiléia, tem-se a captação realizada em cisternas, nascentes e minas e no município de Mariana a captação ocorre por meio de córregos, nascentes, poços e no Rio Doce. Os municípios de Aimorés, Alpercata e Naque realizam captação superficial, por meio dos Rios Manhuaçu, Doce e Santo Antônio, respectivamente.

Foi possível verificar que 78% dos laudos (1397) apresentaram resultados positivos para Coliformes Totais e, destes, 709 testaram positivo para *E. coli* (~40,0%). Cerca de 17% dos laudos apresentaram valores de turbidez acima de 5 UT e 19% dos laudos apresentaram valores de pH inferiores a 6,0.

Outros parâmetros observados acima do VMP, foram: Cor (32%), Ferro Total (24%), Manganês Total (21%), Nitrato (como N) (13%), Nitrito (como N) (0,3%), Amônia (como NH₃) (2,3%), Bário Total (0,4%), Cádmio Total (1,2%), Chumbo Total (0,7%), Níquel Total (0,1%), Selênio Total (0,2%), Trihalometanos (0,2%), Surfactantes (6%) e Arsênio Total (0,3%).

Ainda, 233 laudos (13%) apresentaram resultados acima do valor máximo permitido para o parâmetro Alumínio. Destes, cerca de 34% (80 laudos) apresentaram, concomitantemente, pelo menos mais um metal pesado, podendo ser Ferro Total, Chumbo ou Manganês.

No que diz respeito aos mananciais de abastecimento acometidos, minimamente por alumínio, tem-se: poços (72%), Cisternas (10%), Córregos (7%), Minas e Nascentes (8%) e Rios Doce e Colatina (3%), distribuídos nos municípios de Aracruz, Baixo Guandu, Barra Longa, Belo Oriente, Caratinga, Colatina, Fernandes Tourinho, Galiléia, Governador Valadares, Itueta, Linhares, Mariana, Marilândia, Periquito, Ponte Nova, Resplendor, Rio Doce, Santana do Paraíso, São Pedro dos Ferros, Sem Peixe, Sobrália e Tumiritinga.

Isto posto, estes 261 laudos supracitados, que apontaram para a presença de Alumínio Total acima do valor máximo permitido nos mananciais e municípios, representam 10% do total de laudos emitidos para SAC (com e sem tratamento) e SAI (sem tratamento).

IV. PARÂMETROS DA QUALIDADE DA ÁGUA E EVENTUAIS RISCOS À SAÚDE

Em linhas gerais, considerando-se os mais de 2.500 laudos emitidos para as SAC e SAI, nos anos de 2019 e 2020, os parâmetros em desacordo com a legislação e com relevância superior a 10%, conforme pode ser observado no Gráfico 01, são: Cloro Residual Livre, Coliformes Totais, *E. coli*, Cor Aparente, Ferro Total, Manganês Total, valor de pH, Turbidez, Alumínio Total e Nitrato (como N).

A partir dessa perspectiva, e entendendo-se que as substâncias em percentuais abaixo de 5 serão concomitantemente removidas pelas tecnologias de tratamento propostas neste documento, serão abordados os principais riscos à saúde relacionados à presença destas substâncias na água de consumo humano e à ausência de cloro residual livre.

Os riscos à saúde podem ser agrupados em riscos coletivos ou individuais, de curto, médio ou de longo prazo. Os riscos de curto prazo estão associados à presença de microrganismos patogênicos, pois seus efeitos ocorrem de maneira mais rápida – em poucas horas ou em alguns dias, como por exemplo, as doenças diarreicas agudas e a hepatite infecciosa. Alguns microrganismos causam sérios agravos à saúde, por vezes letais, a exemplo da febre tifoide, cólera e hepatite; outros são responsáveis por sintomas menos graves, como diarreias, porém tais doenças também podem se agravar quando são acometidos grupos vulneráveis como idosos, crianças ou imunocomprometidos (BRASIL, 2006c).

Por outro lado, os riscos de médio e longo prazo estão mais associados aos contaminantes químicos e radioativos, cujos efeitos à saúde são crônicos, podendo afetar os sistemas neurológico, hepático, renal e circulatório (BRASIL, 2006a).

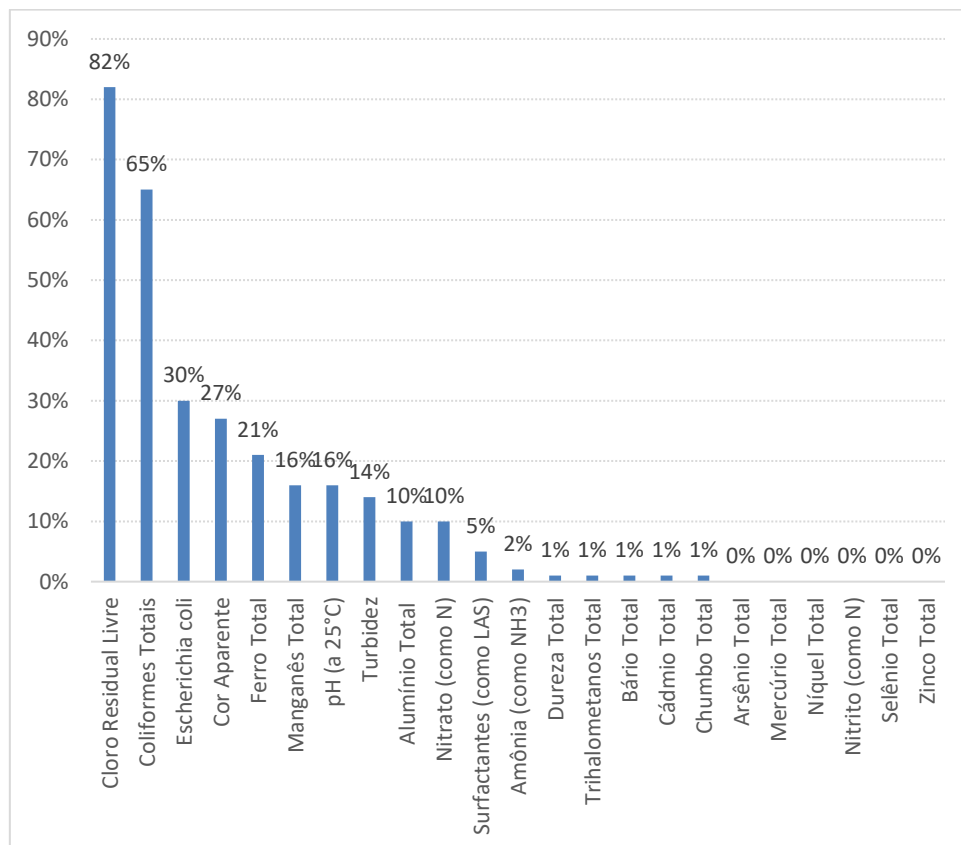


Gráfico 01. Representatividade percentual dos parâmetros acima do VMP, em SAC (com e sem tratamento) e SAI (sem tratamento).

A seguir, serão detalhadas as principais características da água identificadas nos mananciais de abastecimento de água dos municípios atingidos diretamente ou indiretamente pelo rompimento da barragem de Fundão e que possuem potenciais riscos à saúde.

i. Cloro Residual Livre

É importante observar que este parâmetro não existe em águas naturais e somente estará presente após a realização da desinfecção, por meio da adição de produtos à base de cloro, como parte do tratamento da água antes de ser destinado ao consumo humano.

A concentração mínima de cloro residual livre, após a desinfecção/sistema de distribuição, estabelecida no padrão potabilidade (0,20 mg/L) refere-se ao residual mínimo que deve estar presente na água em toda a extensão do sistema de distribuição (reservatório e rede) como prevenção a uma possível (re)contaminação e/ou à proliferação de microrganismos no sistema de distribuição.

Valores de cloro residual livre inferiores a 0,20 mg/L podem indicar falhas no processo de desinfecção, consumo excessivo do cloro residual no sistema de distribuição ou necessidade de

pontos secundários de cloração (recloração) devido à extensão da rede de distribuição. O valor máximo permitido para esse parâmetro se refere a 5,0 mg/L, mas níveis de cloro residual livre entre 2,0 mg/L (valor recomendado) e 5,0mg/L, embora não ofereça riscos à saúde, podem causar rejeição da população (devido à manifestação de gosto e odor na água) e, conseqüentemente, a busca por fontes alternativas não seguras (BRASIL, 2016).

ii. Coliformes Totais

O grupo dos coliformes totais contempla bactérias de vida livre, as quais podem ocorrer naturalmente no solo, na água e em plantas. A presença de coliformes totais em uma amostra pode não guardar qualquer relação com poluição da água por material fecal. Contudo, deve servir como alerta para uma possível exposição da fonte a focos de poluição ou contaminação (BRASIL, 2016).

O monitoramento de coliformes totais após a etapa de desinfecção permite avaliar a eficiência desse processo na inativação de bactérias. Sendo assim, o teste de presença ou ausência de coliformes totais é suficiente para atestar a qualidade bacteriológica da água na saída do tratamento, sendo que a presença desses microrganismos indica a necessidade de investigação e execução de medidas corretivas (BRASIL, 2016).

É importante observar que mesmo quando o tratamento da água é adequado e elimina as bactérias patogênicas, a água pode, por motivos diversos, deteriorar-se ao longo da sua distribuição ou em função de condições inadequadas de reservação. E, muito embora não guarde relação conclusiva com contaminação de origem fecal, a presença de bactérias do grupo coliformes totais no sistema de distribuição (reservatórios e rede) pode indicar possíveis deficiências do processo de desinfecção, bem como do sistema de distribuição, indicando, por si só, a necessidade de investigação e execução de medidas corretivas (BRASIL, 2016).

iii. *E. coli*

A detecção de bactérias do grupo coliformes totais, no qual se inclui a *Escherichia coli*, não indica necessariamente contaminação da água bruta (in natura) com matéria fecal; no entanto, guarda grande importância como indicadores da qualidade da água tratada (BRASIL, 2016). Entretanto, o estágio atual do conhecimento em Microbiologia Sanitária permite caracterizar o microrganismo *Escherichia coli* como o mais preciso indicador da contaminação da água por material fecal, sendo a sua presença um indício da ocorrência de microrganismos patogênicos. Por isso, é estabelecido que

a água para consumo humano deva ser isenta de *E. coli* em qualquer situação (BRASIL, 2016).

iv. Cor

A Cor é dada pela presença de substâncias dissolvidas, decorrentes da decomposição de matéria orgânica (plâncton, substâncias húmicas), pela presença de substâncias tais como ferro e manganês ou pela introdução de efluentes industriais (BRASIL, 2006b).

v. Ferro e manganês

Os sais de ferro e manganês (por exemplo, carbonatos, sulfetos e cloretos), quando oxidados, formam precipitados e conferem à água sabor e uma coloração que pode provocar manchas em sanitários e roupas. Salvo casos específicos, em virtude das características geoquímicas das bacias de drenagem, os teores de ferro e manganês em águas superficiais tendem a ser reduzidos. Águas subterrâneas são mais propensas a apresentar teores mais elevados destas substâncias (BRASIL, 2006b).

vi. Valor de pH

O pH (potencial hidrogeniônico) da água é a medida da atividade dos íons hidrogênio e expressa a intensidade de condições ácidas ($\text{pH} < 7,0$) ou alcalinas ($\text{pH} > 7,0$). Águas naturais tendem a apresentar um pH próximo da neutralidade em decorrência de sua capacidade de tamponamento. Entretanto, as próprias características do solo, a presença de ácidos húmicos (cor intensa) ou uma atividade fotossintética intensa podem contribuir para a elevação ou a redução natural do pH. O valor do pH influi na solubilidade de diversas substâncias, na forma em que estas se apresentam na água e em sua toxicidade (BRASIL, 2006b).

vii. Turbidez

O parâmetro turbidez apresenta importância e interpretação distinta em função do local em que é realizada a coleta da amostra, bem como das características da solução alternativa de abastecimento de água para consumo humano (BRASIL, 2016).

A turbidez da água pós-filtração ou pré desinfecção é a principal forma de avaliar a eficiência de remoção de oocistos de protozoários em processos convencionais de tratamento da água. E mesmo em formas de abastecimento que não possuem etapa de filtração, é importante garantir que a água possua turbidez baixa para eficiência do processo de desinfecção, uma vez que partículas suspensas

(que provocam turbidez na água) podem fornecer abrigo físico aos microrganismos.

Os resultados demonstrados no Gráfico 1, para a Turbidez, dizem respeito à saída do tratamento e, nesse sentido, é importante mencionar que os valores elevados de turbidez na água distribuída podem indicar ineficiência do tratamento ou o comprometimento do sistema de distribuição. Além disso, águas com turbidez acima de 5,0 uT podem causar rejeição da população pela sua aparência turva e, conseqüentemente, a busca por fontes alternativas não seguras. Diferentemente do que ocorre para o parâmetro cloro residual livre, a água tratada apresenta baixa variação da turbidez ao longo do tempo (BRASIL, 2016).

viii. Nitrato e nitritos

O íon nitrato ocorre comumente em águas naturais provindo de rochas ígneas, de áreas de drenagem e da decomposição de matéria orgânica. Suas concentrações podem ser aumentadas por despejos industriais e esgotos domésticos e pelo uso de fertilizantes a partir do nitrato inorgânico. O íon nitrito é uma forma de nitrogênio que pode indicar poluição recente por efluentes industriais e são frequentemente associados à qualidade microbiológica insatisfatória da água (HELLER, PÁDUA, 2006).

ix. Metais pesados

Os metais pesados (entre os quais o alumínio, arsênio, cádmio, bário, selênio, chumbo, mercúrio, níquel e zinco) são espécies químicas metálicas ou semimetálicas, persistentes no meio, ou seja, que não se degradam facilmente e que permanecem por longo período no ambiente, ocasionando danos à saúde.

De acordo com o “Parecer técnico sobre a qualidade da água bruta e da água para o consumo humano”, emitido pelo Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento - INSTITUTOS LACTEC, em outubro do ano de 2019, anteriormente ao rompimento da barragem já se observavam desconformidades em relação aos padrões de qualidade de água definidos na Resolução CONAMA nº 357/2005 nos corpos hídricos atingidos pela lama de rejeitos provenientes da barragem de Fundão. Contudo, após o aporte de 44 milhões de m³ de rejeitos minerários ao ambiente, que também promoveu o arraste de solo, vegetação e edificações, entre outros, bem como a disponibilização de elementos depositados no leito dos rios, a frequência de ocorrência de não conformidades se elevou de modo expressivo. Assim, as não conformidades para os parâmetros manganês total, ferro

dissolvido e alumínio dissolvido se tornaram mais frequentes em relação as condições anteriores ao rompimento.

V. TECNOLOGIAS COMUMENTE EMPREGADAS PARA O TRATAMENTO DA ÁGUA

Após abordadas as principais características das substâncias encontradas na água, e de maior recorrência nos laudos emitidos para as SAC e SAI entre os anos de 2019 e 2020, além dos eventuais riscos à saúde, na sequência serão descritas as principais tecnologias existentes, e capazes de remover as substâncias presentes na água, a fim de viabilizar a escolha do tratamento adequado.

Vale salientar que, independentemente da tecnologia selecionada, a desinfecção deve ser realizada como última etapa do tratamento de água para consumo humano, com o objetivo de inativar organismos patogênicos pela aplicação de um agente desinfetante, assim como garantir um residual do desinfetante na água, para atuar preventivamente caso ocorra alguma contaminação na rede de distribuição ou reservação da água.

A Portaria GM/MS nº 888, de 04 de maio de 2021, define essa obrigatoriedade no Artigo 24, citado a seguir:

Art. 24 Toda água para consumo humano fornecida coletivamente deverá passar por processo de desinfecção ou adição de desinfetante para manutenção dos residuais mínimos, conforme as disposições contidas no Art. 32.

i. Adsorção

A adsorção é o processo no qual certos tipos de compostos dissolvidos na água, sobretudo substâncias orgânicas, denominadas adsorvatos, transferem-se da solução aquosa para a superfície de um material adsorvente. É indicado para a remoção de compostos orgânicos, tais como as substâncias húmicas, cianotoxinas, pesticidas, e alguns compostos inorgânicos.

Dentre as substâncias adsorventes se encontram os carvões vegetais, minerais e animais, especialmente após a ativação (carvão ativado). O carvão ativado, podendo ser granular ou em pó, resulta da carbonização ou pirólise (queima em temperaturas inferiores a 700° C com ausência de ar), seguida da ativação (oxidação) de materiais como madeira, carvão betuminoso ou osso. A carbonização e a ativação são necessárias para desenvolver a estrutura dos vazios internos do carvão, ou seja, desenvolvimento de microporos, mesoporos ou macroporos, possibilitando a escolha do

melhor adsorvente.

A adsorção em carvão ativado granular consiste em passar a água por uma coluna ou leito de carvão ativado, com características granulares e superficiais adequadas, durante tempo suficiente para a remoção das impurezas.

Periodicamente, o leito de carvão deve passar por um processo de regeneração e retrolavagem (limpeza) para propiciar o restabelecimento de sua capacidade adsortiva. A depender das impurezas, a própria água da retrolavagem pode propiciar a regeneração do leito filtrante. Como limitação, ressalta-se a colmatação do leito em condições não ideais de operação.

ii. Troca iônica

Este processo consiste basicamente na utilização de um meio formado por resina trocadora de íons, confeccionada de materiais naturais ou sintéticos, indicada para a remoção de compostos orgânicos e inorgânicos. Existem resinas catiônicas e aniônicas, dependendo da carga elétrica com que são produzidas. A escolha entre uma e outra dependerá do tipo de íons (cátion ou ânion) que se deseja remover da água.

Quando a água a ser tratada é colocada em contato com a resina trocadora de íons (zeólita, por exemplo), ocorre a substituição do íon dissolvido na água por outro da superfície eletricamente carregada da resina. Após saturar-se com os íons removidos, a resina pode ser regenerada para poder continuar funcionando. Comumente, são utilizadas soluções de hidróxido de sódio (NaOH) e de ácido sulfúrico (H_2SO_4) para a regeneração das resinas.

Vale ressaltar que é preciso conhecer a natureza do composto (material sintético ou natural) e sua estrutura química (ácida ou básica) para garantir a eficiência de remoção do composto desejado. Por exemplo, zeólitas ácidas removem, preferencialmente, compostos orgânicos e as básicas para compostos inorgânicos (tais como os metais pesados).

Devido às propriedades adsortivas do carvão ativado e da zeólita, para a remoção de seletos poluentes, é usual o complemento de ambas as tecnologias. Vale ressaltar que o dimensionamento dependerá das características do sistema precedente ou vazão de captação.

Para possibilitar o dimensionamento do sistema de filtração, minimamente, o fornecedor necessitará de informações sobre a qualidade da água e vazão de captação da água. Com estes dados, o fornecedor poderá definir o elemento filtrante, com base no tamanho das partículas que este possui

capacidade de retenção; a perda de carga do filtro para garantir uma boa eficiência energética para a vazão do projeto; drenos, válvulas e torneira (se necessário) compatíveis com a tubulação do sistema de abastecimento de água; especificações da tubulação necessária para a retrolavagem de filtro rápido e membranas; compatibilidade da tubulação com a bomba existente no sistema de abastecimento de água (se necessário); válvula redutora de pressão (se necessário), entre outros.

iii. Processo de Membranas

Os processos de membranas são usados no tratamento de água para remoção de cor, compostos orgânicos dissolvidos, partículas suspensas, microrganismos, metais pesados, abrandamento (a depender do valor de $\text{pH} > 9,0$, o abrandamento precipita os metais pesados), nitrito, nitrato, amônia, dessalinização, dentre outros.

As membranas são permeáveis à água, mas não às substâncias presentes, os compostos ficam retidos, ou concentrados, após serem barrados pela membrana. Existe uma ampla variedade de processos de membranas, que podem ser categorizados de acordo com a força motriz, tipo e configuração da membrana, mecanismos e eficiência de remoção. Os processos de membranas que utilizam a pressão como força motriz são a microfiltração, ultrafiltração, nanofiltração e osmose reversa (OR).

A osmose reversa (OR) é um processo de separação físico-químico no qual a água flui por uma membrana semipermeável devido à aplicação de uma pressão externa maior que a pressão osmótica. É o processo de tratamento com membranas usado para separar solutos dissolvidos da água.

As informações básicas necessárias para o *design* da planta, quando instalada no manancial de captação, tipicamente incluem as características da água bruta, qualidade e quantidade desejada de água tratada. O design do arranjo das membranas é complexo e um processo iterativo que utiliza muitos parâmetros inter-relacionados. Devido à complexidade dos cálculos e a dependência das informações das membranas pelos fabricantes, o design do arranjo é geralmente feito com o software fornecido pelo fabricante. Não obstante, o entendimento dos mecanismos e o procedimento necessário para o design do sistema é necessário para interpretar e verificar os resultados obtidos com a utilização do software do fabricante.

VI. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Frente aos resultados expressivos de não conformidades dos parâmetros microbiológicos, Coliformes Totais e *E. coli*, verificados nas amostras de água das SAC e SAI que integram o PMQACH, e

constatação do baixo teor de cloro residual, considera-se oportuna uma abordagem mais aprofundada sobre o tratamento de desinfecção, antes de se apropriar das alternativas para o tratamento dos demais parâmetros. Vale lembrar que a presença de *E. coli* na saída do tratamento, após o processo de desinfecção, explicita a deficiência desse processo empregado e exige medidas imediatas para correção do problema (BRASIL, 2016).

i. Desinfecção

A desinfecção da água pode ser realizada por diferentes processos, físicos ou químicos, ou a combinação entre eles.

Dentre os processos físicos pode-se citar a fervura da água, assegurando a inativação da totalidade dos microrganismos após um tempo de ebulição de 3 minutos. Esta, constitui uma prática segura e recomendável quando há dúvida sobre a potabilidade da água ou em uma emergência. Todavia, tal alternativa é praticamente restrita ao consumo doméstico, inviabilizando, sob o ponto de vista econômico, seu emprego mesmo para infraestruturas de abastecimento de pequeno porte (Brasil, 2006c).

O cloro, ou produtos à base de cloro, são os agentes desinfetantes mais empregados em todo o mundo, e principalmente em pequenas infraestruturas de abastecimento, tendo em vista o processo químico para se realizar a desinfecção da água (BRASIL, 2004).

Conforme Libânio (2016), o objetivo primordial do uso do cloro em sistemas de abastecimento de água é a desinfecção. Contudo, devido ao seu alto poder oxidante, sua aplicação nos processos de tratamento tem servido a propósitos diversos como controle do sabor e odor, prevenção de crescimento de algas, remoção de ferro e manganês, remoção de cor e controle do desenvolvimento de biofilmes em tubulações. Tudo isso permite, de forma bastante simples, assegurar a inocuidade da água, desde a produção até o momento do uso, o que resulta em grande benefício, tanto em pequenos sistemas de comunidades rurais, ribeirinhas, indígenas, como em grandes cidades. Os principais produtos da família do cloro disponíveis no mercado para realizar a desinfecção da água são o cloro gasoso e os hipocloritos de sódio (solução de 10 a 15%) e de cálcio (pastilha ou granulado, com teor de cloro de 60% a 70%) (BRASIL, 2004).

A eficiência de um desinfetante químico depende do tipo do desinfetante usado, a concentração residual do desinfetante, o tempo de contato com o desinfetante, a temperatura e o valor de pH da

água. Esses condicionantes são apresentados no Art. 30 da Portaria de Potabilidade de Água, conforme transcrito a seguir:

Art. 30. No controle do processo de desinfecção da água por meio da cloração, cloraminação, da aplicação de dióxido de cloro ou de isocianuratos clorados devem ser observados os tempos de contato e as concentrações residuais de desinfetante na saída do tanque de contato, em função, quando cabível, dos valores de pH e temperatura, expressos nos Anexos 3, 4 e 5.

§ 1º Para aplicação dos Anexos 3, 4 e 5 deve-se considerar a temperatura média mensal da água.

O tratamento da água pode ser também realizado no domicílio, com solução de Hipoclorito de sódio 2,5%, especialmente em locais que não possuem abastecimento de água potável, ou seja, que requerem a realização de um tratamento alternativo da água.

Porém é importante atentar que o uso da solução de hipoclorito não inativa todos os organismos que causam doenças de transmissão hídrica. A solução de hipoclorito é efetiva na remoção de bactérias e vírus, mas não afeta os protozoários, como o *Cryptosporidium*. Ao fazer uso desta alternativa, deve-se atentar para o uso correto, respeitando-se as dosagens, volumes e tempo mínimo de contato.

Independentemente da forma utilizada, quando adicionado na água o cloro dissolve-se formando ácido hipocloroso (HOCl) e íon hipoclorito (OCl⁻). A proporção entre HOCl e OCl⁻ é estabelecida em função do pH, sendo que o ácido hipocloroso predomina em pH baixo e o íon hipoclorito em pH mais alcalino. Recomenda-se que a desinfecção seja realizada com o pH mais ácido, pois o ácido hipocloroso, predominante nessa condição, é mais eficaz na destruição dos micro-organismos.

Há que se ressaltar a possibilidade de formação de subprodutos da desinfecção, diante da presença de matéria orgânica resultante da degradação biológica de resíduos de plantas e animais.

Os subprodutos da desinfecção incluem uma ampla variedade de compostos, sendo os principais formados durante a cloração são os trihalometanos (THM) e os ácidos haloacéticos (HAA), cujos limites máximos permitidos pela legislação de potabilidade correspondem a 0,1 mg/L e 0,08 mg/L, respectivamente, que representam riscos à saúde da população devido ao potencial carcinogênico.

Assim, a realização da desinfecção da água com presença de matéria orgânica requer a realização de um pré-tratamento para remover os compostos presentes passíveis de serem precursores de formação de subprodutos. Como alternativa apresenta-se a filtração da água antes da realização da desinfecção.

Aqui, considera-se importante mencionar que cerca de 1% dos laudos de SAC sem tratamento e SAI constataram a presença de subprodutos da cloração (ácidos haloacéticos total e trihalometanos total). Com isso, pode-se inferir sobre a necessidade de ajustes dos procedimentos de desinfecção intradomiciliar da água, onde o usuário deve atentar sobre a necessidade de filtrar a água antes de realizar a desinfecção, além de fazer uso de dosagens corretas de hipoclorito de sódio a 2,5% e de água e tempo mínimo de contato para que ocorra a desinfecção, conforme anteriormente mencionado. Tal ação é ainda mais relevante quando se considera que estas análises deixarão de ser realizadas através do PMQACH, não sendo possível confirmar a presença destes subprodutos quando o procedimento de desinfecção da água não for corretamente realizado.

Por fim, é oportuno mencionar a necessidade de realizar a manutenção dos reservatórios e cisternas. Com o objetivo de preservar a qualidade da água armazenada, os reservatórios devem passar por manutenção periódica, que inclua os processos de limpeza e desinfecção. Ambos os processos devem ser executados, rotineiramente, uma vez a cada seis meses, e sempre que for detectada qualquer alteração nos parâmetros de potabilidade da água que a inviabilize para o consumo humano. O processo de limpeza consiste na remoção mecânica de substâncias e detritos indevidamente presentes no reservatório. Terminada a limpeza, deve ser realizada a desinfecção.

A Portaria GM/MS nº 888, de 04 de maio de 2021 traz informações sobre o tempo de contato mínimo a ser observado para a desinfecção por meio de cloração, de acordo com a concentração de cloro residual livre, temperatura e pH da água. Já os Anexos 6, 7 e 8 estabelecem o tempo de contato mínimo (minutos) a ser observado para a desinfecção por meio de cloraminação, de acordo com concentração de cloro residual combinado (cloraminas) e com a temperatura da água, para valores de pH da água entre 6 e 9.

Importante lembrar que o manuseio de produtos à base de cloro requer cuidados, pois o cloro é uma substância corrosiva e irritante, podendo causar queimaduras e outros problemas à saúde se ingerido, inalado ou em contato direto com a pele. Portanto, o uso de equipamento de proteção individual é indispensável.

ii. Filtração

– *Intradomiciliar*

A filtração da água poderá ser realizada dentro do domicílio, através de purificadores de água, filtros e coadores de papel ou pano limpo, para a retirada de sólidos mais grosseiros, para e posterior fervura

ou tratamento com hipoclorito de sódio a 2,5%.

O filtro de barro é uma solução que pode ser viável, uma vez que a forma de acondicionamento possibilitará a cloração e a eliminação de contaminação proveniente de reservação inadequada. Dividido em dois compartimentos, a filtração da água nos filtros de barro ocorre por gravidade passando por velas de cerâmica micro porosa (cerâmica; cerâmica + carvão ativado), responsáveis pela retenção das primeiras impurezas da água. A cerâmica seria responsável por parte da retenção de arsênio de flúor presente água (quando é o caso) e o carvão ativado por neutralizar metais pesados. Na hipótese de se optar por um filtro de barro, é interessante que ele contenha pelo menos 2 velas, uma com carvão ativado.

É importante ressaltar que a água da primeira filtragem deverá ser descartada, sem o consumo, uma vez que a água é utilizada para limpar o filtro e ativar a vela. Ainda, quanto maior for o grau de contaminação, maior será a exigência da vela e, dessa forma, menor será sua vida útil. Para tal, é importante realizar a filtração prévia da água utilizando-se coadores ou pano limpo, por exemplo. Assim, para manter o bom funcionamento, é importante fazer a manutenção preventiva, avaliando a quantidade e a qualidade da água que está sendo filtrada, e limpeza periódica, de acordo com as instruções do fornecedor.

Outra possibilidade são os purificadores de água que utilizam refis de carvão ativado ou osmose reversa, instalados diretamente na cozinha da residência. Da mesma forma que os filtros de barro, os usuários devem estar atentos à correta operação e manutenção, para garantir a qualidade da água consumida.

– *Saída do Poço ou cisterna (poço raso)*

O tratamento de água contendo metais pesados pode ser realizado com filtros instalados na saída do poço, a base de zeólitas com características para reter estas substâncias, ou a combinação de zeólitas e carvão ativado para a retenção de outros compostos de interesse. Para a remoção de ferro, por exemplo, ainda é necessário fazer uso de uma concentração de cloro na entrada do filtro, de forma a precipitar o metal.

Geralmente são confeccionados em aço inox ou fibra de vidro e, periodicamente, há a necessidade de realizar a retro lavagem do leito filtrante. Quando necessária a troca, o descarte deve ser feito em ambiente controlado, pois o leito filtrante fica carregado de metais pesados.

Não menos importante, há que considerar a necessidade de realizar a limpeza e desinfecção de poços por meio da aplicação de produtos químicos na água, procedimento que deve ser realizado periodicamente. Além de garantir melhor qualidade para a água, é fundamental para aumentar a vida útil dos equipamentos que os constituem.

Ainda, pode-se fazer uso da Solução Alternativa Coletiva Simplificada de Tratamento de Água para consumo humano em pequenas comunidades, utilizando filtro e dosador, desenvolvidos pela Fundação Nacional de Saúde - Funasa, também conhecida como SALTA – z.

A SALTA – z é eficaz quando atende aos seguintes critérios:

- a) Comunidades cuja água destinada ao consumo humano seja captada em manancial superficial ou captada em manancial subterrâneo com ocorrência de ferro e manganês.
- b) A vazão de captação deve ser igual ou inferior a 1.000 L/h, possibilitando assim a taxa de filtração máxima do leito filtrante e as condições ideais de manutenção do sistema. Dessa forma, possibilitará o abastecimento aproximado de 100 habitantes, tendo em vista o consumo médio de 120L/dia/hab e um tempo de operação da estação de tratamento de 12 horas diárias.

Dentre as características do equipamento, conforme o manual da SALTA – z (BRASIL, 2017), pode-se observar uma unidade de recalque da água bruta, dosador para o coagulante sulfato de alumínio, dosador de cloro, filtro composto por zeólita e areia, dreno de sedimentos e caixa com leito filtrante para retenção do sedimento (lodo) e dreno de descarte para o fluido. De acordo com o Manual de operação da SALTA – z, “para água de manancial subterrâneo não há necessidade de adição de sulfato de alumínio para clarificação da água bruta (floculação e sedimentação), exceto, no caso de forte complexação com matéria orgânica em poços vulneráveis (poços excessivamente rasos, poços inundáveis, etc.)”.

Há que se levar em consideração a obrigatoriedade de realizar a desinfecção da água. Assim, seria necessário prover um dosador de cloro posterior ao filtro e um reservatório para garantir o tempo mínimo de contato do desinfetante com a água, antes da distribuição e consumo.

Com relação à operação, ao se tratar de captação em manancial superficial, ressalta-se a necessidade de destinar um profissional a ser capacitado e que garanta a dosagem correta do sulfato de alumínio, tendo em vista os riscos envolvidos com o excesso deste metal pesado na água.

Quanto à manutenção, além de adquirir os insumos para o tratamento diário da água, há necessidade

de prover a substituição do leito filtrante, quando necessário, a fim de garantir que o fornecimento da água atenda o padrão de potabilidade. Quanto ao lodo gerado, faz-se necessária a destinação adequada, através de processos de tratamento, para que se enquadrem aos padrões nacionais de lançamento de efluentes.

VII. CONCLUSÕES

Objetivando a simplicidade na operação e manutenção das tecnologias apresentadas, por parte dos usuários da água, recomenda-se:

- a) Para os locais onde há desconformidade com os parâmetros bacteriológicos:
 - Limpeza e desinfecção periódica de poços e cisternas (poços rasos), reservatórios, entre outros, seguida do tratamento de desinfecção e reservação;
 - A filtração intradomiciliar poderá ser realizada por meio de filtros ou purificadores de água; ao optar pelo uso do hipoclorito de sódio a 2,5% para realizar a desinfecção intradomiciliar, deve-se seguir as recomendações do Ministério da Saúde, quanto aos volumes e tempo de detenção;
 - Em pontos de consumo individual, como as cisternas, além da limpeza e manutenção, recomenda-se o tratamento intradomiciliar da água;
 - Para captação superficial (barragens, rios, córregos, minas, nascentes etc.), recomenda-se o tratamento convencional, por meio da SALTA – z, seguida de desinfecção. Na impossibilidade, recomenda-se a utilização do tratamento intradomiciliar, por meio de filtros e desinfecção da água.

- b) Para os locais onde há desconformidade com os parâmetros bacteriológicos e físico-químicos:
 - Limpeza e desinfecção periódica de poços e cisternas (poços rasos), reservatórios, entre outros, seguida do tratamento de desinfecção e reservação;
 - A filtração (por meio de carvão ativado, zeólitos ou membranas) deverá ocorrer na saída do poço e cisterna (poço raso), seguida de desinfecção e posterior reservação;
 - A filtração intradomiciliar poderá ser realizada por meio de filtros ou purificadores de água; ao optar pelo uso do hipoclorito de sódio a 2,5% para realizar a desinfecção intradomiciliar,

deve-se seguir as recomendações do Ministério da Saúde, quanto aos volumes e tempo de detenção;

- Em pontos de consumo individual, como as cisternas, recomenda-se o tratamento intradomiciliar da água;
- Para captação superficial (barragens, rios, córregos, minas, nascentes etc.), recomenda-se o tratamento convencional, por meio da SALTA – z, visto que a coagulação com sulfato de alumínio induz a precipitação de metais pesados, quando for o caso, seguida de desinfecção. Na impossibilidade, recomenda-se a utilização do tratamento intradomiciliar, por meio de filtros e/ou purificadores, seguido de desinfecção da água.

VIII. RECOMENDAÇÕES AO CIF

Considerando-se a urgência de estruturação e adoção de medidas, e os eventuais riscos à saúde humana decorrentes do consumo de água com parâmetros em desconformidade aos padrões de potabilidade estabelecidos pelo Ministério da Saúde, a partir da avaliação dos resultados do monitoramento da qualidade da água para consumo humano no período compreendido entre os anos de 2019 e 2020, e tendo em vista o fornecimento de subsídios para que a população adote a solução mais apropriada para si, sugere-se:

- a) Empregar a presente Nota como recomendação técnica para o tratamento da água em SAC e SAI que abastecem a população direta e indiretamente impactada pelo rompimento da barragem de Fundão, em Mariana-MG;
- b) Solicitar à Fundação Renova apoio financeiro para implantação das tecnologias de tratamento indicadas nesta Nota Técnica em prazo estabelecido de até 2 (dois) anos;
- c) Solicitar à Fundação Renova apoio financeiro para a manutenção das tecnologias implantadas, bem como a reposição dos produtos químicos em tempo oportuno e quando cabível;
- d) Solicitar à Fundação Renova a continuidade do monitoramento da qualidade da água consumida pela população, a fim de comprovar a funcionalidade do tratamento adotado e acompanhamento do período de manutenção, por um período de um ano após a implantação das tecnologias de tratamento;
- e) Solicitar à Fundação Renova a efetiva implementação de um Programa de Educação em Saúde, que contemple a adoção de práticas seguras para o acondicionamento e tratamento intradomiciliar da água, além da manutenção periódica de poços, cisternas e reservatórios.

REFERÊNCIAS:

Brasil. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. Manual da solução alternativa coletiva simplificada de tratamento de água para consumo humano em pequenas comunidades utilizando filtro e dosador desenvolvidos pela Funasa/Superintendência Estadual do Pará. – Brasília: Funasa, 2017.49 p.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Boas práticas no abastecimento de água: BRASIL, 2006b para a minimização de riscos à saúde / Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde. – Brasília: Ministério da Saúde, 2006a.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Manual de Procedimentos de vigilância em saúde ambiental relacionada à qualidade da água para consumo humano / Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde. – Brasília: Ministério da Saúde, 2006b.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano/ Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde. – Brasília: Ministério da Saúde, 2006c.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Coordenação Geral de Vigilância em Saúde Ambiental. Portaria GM/MS nº 888, de 04 de maio de 2021. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial da União de 07 de maio de 2021. Brasília, 2021.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Vigilância em Saúde Ambiental e Saúde do Trabalhador. Diretriz nacional do plano de amostragem da vigilância da qualidade da água para consumo humano. Brasília: Ministério da Saúde, 2016.

BRASIL. Senado Federal. Projeto de Emenda à Constituição nº 4 de 2018. Inclui, na Constituição Federal, o acesso à água potável entre os direitos e garantias fundamentais. Disponível em: <https://legis.senado.leg.br/sdleg-getter/documento?dm=7631316&ts=1567534424177&disposition=inline>

FUNDAÇÃO RENOVA. Planilha Histórico PMQACH Tommasi. Janeiro de 2021.

HELLER, L.; PÁDUA, V. L. Abastecimento de água para consume humano. ed.2, v.2. Belo

Horizonte: UFMG, 2006.

LIBÂNIO, M. Fundamentos de qualidade e tratamento de água. 4a ed. Campinas: Editora Átomo, 2016. 638 p.

Parecer técnico sobre a avaliação da água bruta e da água para o consumo humano à luz dos padrões de qualidade estabelecidos no Brasil, tendo em vista as alterações ambientais decorrentes do rompimento da barragem de Fundão em Mariana – MG. Parecer Técnico nº 25, LACTEC-MA, de 25/10/2019.

Equipe Técnica Responsável pela elaboração desta Nota Técnica:

Alice Rodrigues de Matos
Rafaeli Alves Brune
Jaqueline Francischetti
Sérgio Rossi
Sérgio Lubiana
Alyne Cetrangolo Chirmici

Nota Técnica aprovada em 12/05/2021, na 41ª Reunião Ordinária da CT-Saúde.

Gian Gabriel Guglielmelli

Coordenador – CT-Saúde