
Avaliação da qualidade da água em reservatórios influenciada pelas diferentes configurações de saída

Assessment of water quality in reservoirs influenced by different output configurations

Evaluación de la calidad del agua en depósitos influenciada por diferentes configuraciones de salida

Nathan Peixoto Ribeiro

Instituto Federal de Goiás (IFG)
nathanpeixoto8@gmail.com

Thiago Augusto Mendes

Instituto Federal de Goiás (IFG)
engenhoaugusto@gmail.com

Sávio Aparecido dos Santos Pereira

Instituto Federal de Goiás (IFG)
savioaparecido1@gmail.com

Eder Chaveiro Alves

Agência Goiana de Infraestrutura e Transportes (GOINFRA)
ederchaveiro@yahoo.com.br

Alexandre Garcês de Araújo

Universidade Estadual de Goiás (UEG)
alexandregarcês@gmail.com.br

Resumo

A avaliação da qualidade da água é importante no contexto de saúde pública e qualidade de vida daqueles que a consomem. Dentre os componentes do sistema de instalações prediais de água, destaca-se o reservatório, com características próprias de volume e disposição de configuração de saída da água de abastecimento. Portanto, este artigo apresenta como foi planejada, desenvolvida e monitorada a qualidade da água em reservatórios, comumente utilizados em instalações hidrossanitárias, influenciada pelas diferentes configurações de saída de água para o abastecimento. Para tanto, um modelo físico de reservatório foi construído em estrutura metálica e vidro temperado de alta resistência com dimensões 2,0 x 1,0 x 1,0 m, contendo quatro diferentes saídas de água de abastecimento no que se refere à localização e posição de instalação. A qualidade da água no reservatório foi avaliada considerando duas etapas de operação: a primeira, permitindo um fluxo de água no interior do

reservatório promovido pela entrada e saída superior e a segunda, um fluxo de água no sentido entrada superior e saída inferior. Durante as duas etapas foram coletadas e analisadas amostras de água das quatro saídas existentes. Os resultados das análises de água mostraram que os melhores parâmetros de potabilidade, conforme exigências da Portaria nº 2.914/2011 e de Consolidação nº 5/2017, do Ministério da Saúde do Brasil, foram obtidos considerando a entrada de água na parte superior e a saída de água no fundo do reservatório do lado oposto (tipo faceada).

Palavras-chave: Instalações Prediais. Reservatório de Água. Armazenamento. Modelo físico.

Abstract

The assessment of water quality is important in the context of public health and quality of life for those who consume it. Among the components of the building water installation system, the reservoir stands out, with its own characteristics of volume and disposition of the supply water outlet configuration. Therefore, this article presents how the water quality in reservoirs commonly used in hydrosanitary installations was planned, developed and monitored, influenced by the different configurations of water outlets for the supply. For this purpose, a physical model of the reservoir was built in a metallic structure and high-strength tempered glass with dimensions 2.0 x 1.0 x 1.0 m containing four different supply water outlets about the location and position of installation. The quality of the water in the reservoir was evaluated considering two stages of operation: the first, allowing a flow of water inside the reservoir promoted by the upper inlet and outlet, and the second, a flow of water towards the upper inlet and lower outlet. During the two stages, water samples from the four existing outlets were collected and analyzed. The result of the water analyzes showed that the best potability parameters, as required by Ordinance 2914/2011 and Consolidation nº 5/2017 of the Ministry of Health of Brazil, were obtained considering the water inlet at the top and the outlet of water at the bottom of the reservoir on the opposite side (faced type).

Keywords: Building Installations. Water Reserve. Storage. Physical model.

Resumen

La evaluación de la calidad del agua es importante en el contexto de la salud pública y la calidad de vida de quienes la consumen. Entre los componentes del sistema de instalación de agua del edificio, destaca el depósito, con características propias de volumen y disposición de la configuración de salida del agua de suministro. Por tanto, este artículo presenta cómo se planificó, desarrolló y monitorizó la calidad del agua en los embalses comúnmente utilizados en las instalaciones hidrosanitarias, influenciada por las diferentes configuraciones de salidas de agua para el suministro. Para ello, se construyó un modelo físico del embalse en estructura metálica y vidrio templado de alta resistencia con dimensiones de 2,0 x 1,0 x 1,0 m, conteniendo cuatro salidas de agua de suministro distintas en cuanto a la ubicación y posición de instalación. La calidad del agua, en el reservorio, se evaluó considerando dos etapas de operación: la primera, permitiendo un flujo de agua dentro del reservorio promovido por la entrada y salida superior, y la segunda, un flujo de agua hacia la entrada superior y la salida inferior. Durante las dos etapas, se recolectaron y analizaron muestras de agua de los cuatro puntos de venta existentes. Los resultados de los análisis de agua mostraron que los mejores parámetros de potabilidad, como lo requiere la Ordenanza nº 2914/2011 y la Consolidación nº 5/2017, del Ministerio de Salud de Brasil, se obtuvieron a partir de la consideración de la entrada de agua en la parte superior y la salida de agua en la parte inferior del depósito, en el lado opuesto (tipo con frente).

Palabras clave: Instalaciones de edificios. Reservatorio de agua. Almacenamiento. Modelo físico.

Introdução

O projeto de instalações prediais hidrossanitárias é fundamental para o transporte e distribuição de água ao longo de uma edificação, porém, devido ao seu baixo custo executivo, e por não serem visíveis aos usuários, são na maioria das vezes mal executados ou negligenciados pelos construtores. Essa negligência pode trazer desconforto ao usuário, além de interferir diretamente na qualidade de vida daqueles que utilizam o empreendimento. Cupertino e Brandstetter (2015) constataram, através de estudos de caso, que as maiores reclamações pós-obra estão relacionadas as instalações hidrossanitárias, com volume de reclamação variando entre 19% e 28% entre diferentes construtoras. Pereira et al. (2010) ao realizarem a reabilitação de um edifício, destacaram a inexistência de projeto hidrossanitário, além da manutenção duvidosa nessas instalações, evidenciando a negligência apresentada.

Nesse sentido, compreender o funcionamento dos principais elementos que constitui a rede hidráulica de um empreendimento, como bombas hidráulicas, tubos, conexões e reservatórios, bem como uma adequada especificação, dimensionamento e execução desses elementos, faz-se importante na garantia de qualidade, conforto, quantidade e qualidade da água necessárias aos residentes. Dentre os principais elementos hidráulicos de uma instalação hidrossanitário, pode-se destacar os reservatórios de armazenamento de água, que são a parte mais visível da rede de abastecimento de água, porém, pouco estudado o seu comportamento frente a qualidade da água armazenada.

No geral, esses elementos são dimensionados e executados para possibilitar adequação hidráulica, mas pouco se observa a influência dos principais parâmetros de projeto que os envolvem, como: vazões e diâmetros das tubulações de entrada e saída, material de fabricação e impermeabilização na qualidade da água de quem utiliza o empreendimento. Percebe-se também insuficiência de avaliação da geometria do reservatório, nas posições de saída, no tempo de detenção hidráulica, bem como do regime de manutenção, que são os parâmetros que possuem influência direta na qualidade da água.

Diversos trabalhos buscam avaliar a qualidade da água, que são armazenadas em reservatórios, como Norete et al. (2018) que avaliaram a água utilizada em dez quiosques, constatando que 30% apresentavam bactérias acima de 500 UFC ml⁻¹, não sendo detectado coliformes e *E. coli* nas amostras. Martins et al. (2015) fizeram análises na água utilizada em uma escola municipal de Uberlândia, Minas Gerais, percebendo que na amostra de dezembro, a água proveniente do bebedouro apresentou resultado positivo para coliformes totais, sendo associado o fato à falta de higienização do reservatório (caixa de água). Analisando reservatórios de abastecimento de água, Silva et al. (2019), através de uma simulação do decaimento de cloro nos reservatórios, constataram que a variação de cloro estava relacionada ao modo de operação do reservatório.

A análise da interação entre água e reservatório é fundamental para determinação das principais variáveis que influenciam na qualidade de água. Percebe-se que os estudos são voltados à modelos numéricos e grandes reservatórios (MOLINAS e SOUZA FILHO, 2011; SILVA et al., 2018). Em estudos de reservatórios de instalações prediais, destaca-se o estudo de Xavier et al. (2014) que avaliaram a influência de diferentes condições de entrada e saída de água em um reservatório por meio da ferramenta *Computational Fluid Dynamics* (CFD). Entretanto, percebe-se que a análise dos reservatórios de edificações prediais carece de maiores estudos na literatura acadêmica, sobretudo na utilização de modelos físicos.

Dessa forma, esse artigo tem como objetivo avaliar a qualidade da água em reservatório com diferentes configurações de saída em função do tempo de detenção hidráulica da água armazenada. Os resultados obtidos foram comparados aos valores obtidos por Xavier et al. (2014). Para alcançar o objetivo proposto foram realizadas as etapas de planejamento, elaboração de projeto técnico e execução do modelo físico do reservatório, análises físico-químicas e biológicas em amostras de água armazenada no modelo físico e análise da definição de metodologia que represente o regime real de consumo de água potável residencial. O desenvolvimento do modelo físico permitiu a compreensão da influência das peças, conexões e localização de saída da água no dimensionamento de reservatórios e na qualidade da água armazenada.

Materiais e métodos

O desenvolvimento metodológico utilizado neste trabalho é apresentado na Figura 1 e foi dividido em quatro etapas. Cada etapa é detalhada ao longo desta seção.



Figura 1 - Etapas do processo metodológico utilizado.

Fonte: Autoria própria.

Planejamento e construção do reservatório

Nesta etapa, foi levado em consideração o atendimento residencial uni e multifamiliar, ou seja, demanda (armazenamento e vazão) de residências térreas e sobrados que atendam até 8 pessoas (média de 150,0 L pessoa⁻¹ dia⁻¹ de água). Também foi utilizada a proposta de Xavier et al. (2014) com adaptações no que se refere à localização das possíveis saídas de água do reservatório.

Com relação à geometria e dimensões do reservatório, não foram realizadas diferentes configurações, optando-se pela geometria retangular, condizente com a maioria dos reservatórios de concreto executado nas obras verticais. Foram adotadas as dimensões do reservatório de 2,0 x 1,0 x 1,0m (comprimento x largura x altura), utilizada também por Xavier et al. (2014), e que satisfazem o volume armazenada de projeto, em conformidade com as recomendações da NBR 5.626 (ABNT, 2020).

No que tange a escolha dos materiais para sua construção, optou-se pelo uso de vidro temperado incolor de alta resistência (espessura de 10 mm) e estrutura metálica apoiada (perfis metálicos e cantoneiras de aço de 25,4 mm para a estrutura de fixação e apoio dos vidros, e tubos industriais de ferro de 31,75 mm para os cavaletes metálicos) (Figura 2) em detrimento de materiais como acrílico, concreto armado, PVC e outros, por facilidade de montagem, diminuição de peso próprio, estética e visualização da mistura dentro do reservatório.

O reservatório foi montado fixando as placas de vidro temperado por meio de silicone, que após o tempo de espera de cura do silicone (pega e secagem) foram encaixadas na armação metálica (Figura 2). Ressalta-se que o reservatório não possui compartimentos, possuindo estrutura metálica simétrica para suporte dos vidros temperados, ou seja, quatro cantoneiras principais verticais de ferro de 1" (Figura 2a). Depois de concluída a montagem do reservatório, ele foi içado sobre os cavaletes metálicos tipo A, de 70 cm de altura (referência do solo).

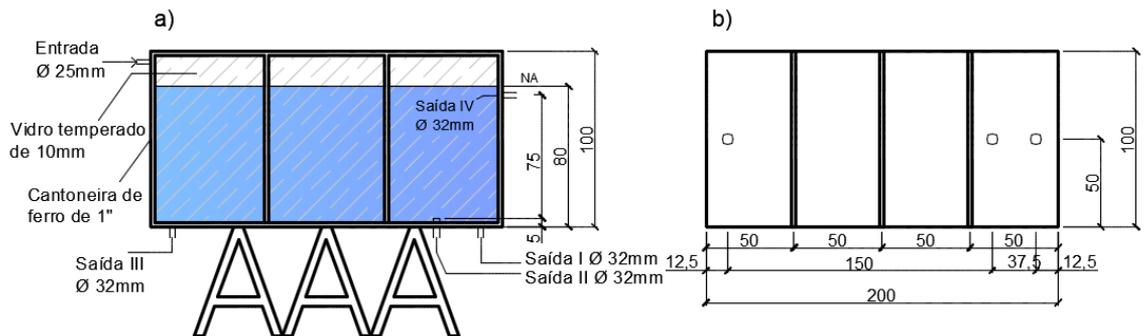


Figura 2 - Esquema do modelo de reservatório de água proposto: a) corte; b) planta.

Fonte: Autoria própria.

O reservatório possui apenas 1 entrada (flange de 25 mm) e 4 saídas controladas por registros de esfera do tipo VS (soldável) de 32 mm, identificadas e denominadas de Saída I a IV (Figura 2a). As tubulações de Saídas I e III estão faceadas com o fundo do reservatório (pelo interior do reservatório). Já a Saída IV encontra-se oposta a entrada na cota de 80 cm do fundo e a Saída II encontra-se 5 cm acima do fundo do reservatório (lado interior do reservatório). Por questão de simetria, a entrada e as saídas ficaram na metade da largura do reservatório, que possui capacidade máxima de 1.800 L (1,8 m³), apresentadas na Figura 2b.

O planejamento e execução do reservatório demandou um prazo total de 60 dias, sendo que a confecção da estrutura metálica de suporte do reservatório durou por volta de 10 dias e foi realizada em outra localidade de instalação do reservatório, que posteriormente foi transportada para o local da pesquisa (Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Campus Aparecida de Goiânia). As etapas construtivas do reservatório podem ser visualizadas na Figura 3.



Figura 3 - Construção do reservatório (modelo físico): a) montagem da armadura de reforço; b) cavaletes de suspensão do reservatório; c) peças de vidro temperado 10 mm; d) estrutura de vidro montada com silicone industrial; e) vista lateral do reservatório e f) coleta da amostra.

Fonte: Autoria própria.

Enchimento do reservatório

Com o modelo físico do reservatório desenvolvido, iniciou-se o processo de enchimento do reservatório, em duas fases distintas, sendo uma primeira para verificação de possíveis vazamentos e uma segunda para preparação da operação do sistema (simulação). No que se refere a primeira fase, esse

processo foi dividido em três etapas: enchimento de 30% da sua capacidade total por um período de 24 horas; enchimento de 70% da sua capacidade total pelo mesmo período e; enchimento de 100% de sua capacidade total por 48 horas. A água utilizada para o enchimento do reservatório foi proveniente da rede de água do laboratório de Águas do IFG, Campus Aparecida de Goiânia, ou seja, da concessionária local de água. Ao fim da primeira fase (enchimento do reservatório para detecção de possíveis vazamentos), esvaziou-se totalmente o reservatório e iniciou-se a segunda fase com a avaliação da vazão de entrada (afluente) do reservatório por meio do método volumétrico e Equação 1. Não foram detectados vazamentos nessa etapa.

$$Q = \frac{V}{t} \quad (1)$$

onde: Q é a vazão afluente de entrada do reservatório, proveniente da concessionária local de água, ou seja, torneira ou fonte de água utilizada ($L s^{-1}$), V é o volume da vidraria de precisão utilizada (L) e t é o tempo necessário para o enchimento completo da vidraria de precisão utilizada (s).

Apesar do método volumétrico de determinação da vazão de entrada contar com aproximações, principalmente na medição do volume (devido ao nível de precisão do elemento de vidraria utilizado – balão volumétrico, classe A) em um determinado intervalo de tempo (neste artigo considerados 1, 2 e 5 minutos), essa avaliação foi importante para verificar a uniformidade da vazão de entrada do reservatório ao longo do tempo de simulação de circulação e garantir que o jato de entrada não oferecesse energia suficientemente excessiva para ocorrer vórtices de mistura (velocidade de entrada próxima de zero – regime permanente uniforme).

A segunda fase finalizou-se com as coletas de amostras de água da entrada para determinação laboratorial dos parâmetros de potabilidade e qualidade da água, utilizando como referência a Portaria Brasileira 2.914/2011 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011), que aconteceram em duas diferentes datas. Assim, a água armazenada permaneceu em repouso (sem ocorrência de circulação no reservatório) por um período de quinze dias, na tentativa de simular uma possível viagem familiar dos moradores. No décimo sexto dia da fase de operação do reservatório foi realizada a

primeira coleta de amostras de água nas saídas do reservatório e transportada para os laboratórios de análises (27/11/2017). A sequência das coletas das amostras seguiu a numeração das saídas propostas (Figura 2).

Uma segunda análise de água foi realizada no dia 15/12/2017, agora para um período de dez dias de repouso.

No que se refere a coleta e transporte das amostras de água (entrada e saída do reservatório) para posteriormente serem analisadas (parâmetros de potabilidade e qualidade da água), todos os procedimentos e cuidados seguiram as recomendações propostas por EMBRAPA (2011), BRASIL (2011) e APHA (2017).

Todos os ensaios para determinação dos parâmetros de potabilidade sugeridos pela Portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011) e de qualidade de água seguiram metodologia do *Standard Methods for Examinations of Water and Wastewater 23th Edition* (APHA, 2017) e foram realizados em dois laboratórios terceirizados, localizados no município de Goiânia – GO. Todo o procedimento de coleta, transporte e análise dos parâmetros de qualidade da água foram realizados no mesmo dia.

Ao todo foram realizadas dezoito coletas e análises das amostras de água para determinação dos principais parâmetros de qualidade, sendo duas de entrada na fase de enchimento e dezesseis nas saídas na fase de operação do reservatório (nas quatro saídas diferentes).

Operação do reservatório

Finalizada as etapas de enchimento e armazenamento, foram coletadas e analisadas amostras das 4 saídas existentes no reservatório, inicialmente com a água armazenada em condição de repouso. A Figura 4 apresenta os fluxos de circulação dentro do reservatório. O primeiro ciclo de circulação da água no reservatório, após as coletas das amostras de água das saídas, procedeu-se entre a entrada e a Saída IV (parte superior do reservatório, Figura 4a). O ciclo subsequente ocorreu entre a entrada e a Saída II (parte superior e fundo do reservatório, Figura 4b).

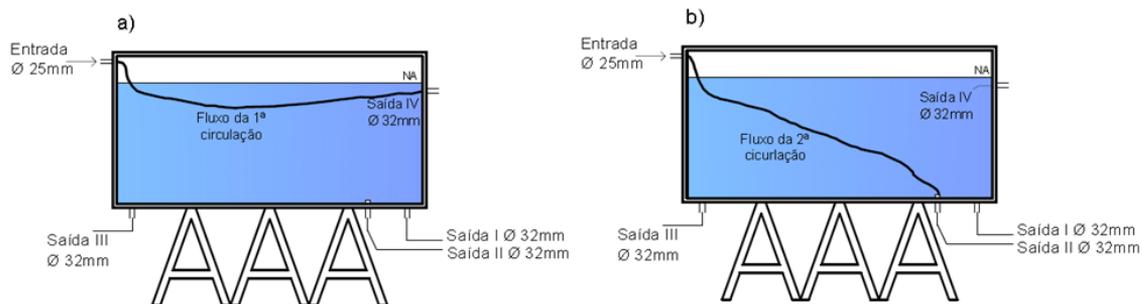


Figura 4 - Representação do fluxo de circulação no interior do reservatório: a) 1ª circulação, sentido saída S-IV; b) 2ª circulação, sentido saída S-II.

Fonte: Autoria própria.

Entre um ciclo e outro, ou seja, a cada final de ciclo, foram realizadas coletas de amostras de água das saídas para análise dos parâmetros de potabilidade, e logo após, a água armazenada no reservatório foi submetida ao repouso por dois dias. No momento em que se estabelecia o repouso da água, foi detectado um pequeno vazamento em uma das arestas do reservatório, próximo à Saída I. O pequeno vazamento persistiu por dois dias, sendo que, no primeiro dia ocorreu a perda de 480 mL de água (0,0003% do volume total do reservatório), e no segundo dia a perda foi de 300 mL (aproximadamente 0,00019% do volume do total do reservatório). Finalizado os dois dias de repouso, o novo ciclo de circulação, para avaliação de outra saída do reservatório, foi iniciado.

A fase de operação do reservatório (circulação de água) foi realizada com intuito de simular as condições reais de uso do equipamento hidráulico, ou seja, uso da água armazenada por meio de uma das saídas a serem avaliadas, com abertura do registro correspondente dessa saída e, vazão constante de água por meio da única entrada de água do reservatório.

Esses dois cenários diferentes de circulação foram propostos no intuito de avaliar como a qualidade da água do reservatório se comportaria frente às condições de fluxo de água impostas pelas diferentes posições das saídas. Já que o primeiro cenário de circulação, de certo modo, promove um movimento da água a ser utilizada mais superficial, pelo topo do reservatório pela saída IV (Figura 4a). Enquanto, que o segundo cenário, impõe um fluxo de água que considera toda a profundidade do reservatório, pela Saída II (Figura 4b).

Análise dos resultados

Por fim, a última etapa foi a análise dos resultados dos parâmetros de potabilidade e qualidade de água das saídas para cada ciclo de circulação. Foram avaliados nessa etapa, as seguintes variáveis: vazão, pH, turbidez, cloreto total, condutividade à 25°C, cor aparente, dureza total, amônia, sólidos dissolvidos totais, coliformes termotolerantes, bactérias heterotróficas, *Escherichia coli*, ferro total, Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO_{5,20}), Oxigênio Dissolvido (OD), fósforo e nitrogênio. Os dados foram provenientes de dois ensaios físicos realizados nos dias 27/11/2017 e 15/12/2017, conforme descrito anteriormente.

Resultados e discussões

São apresentados, a seguir, os resultados e discussões sobre o modelo físico para avaliação da qualidade da água em reservatórios. Os testes realizados para determinação da vazão de entrada variaram pouco, apresentando baixo desvio padrão, mostrando uniformidade, com menor vazão média para os maiores tempos de observação (Tabela 1). Dessa forma, utilizou-se como vazão de entrada o valor de 0,015 L s⁻¹, considerada mais representativa para a operação do reservatório, ou seja, regimes de circulação (consumo e reabastecimento do reservatório), além de oferecer baixa velocidade (energia) para mistura do sistema.

Tabela 1 – Resultados dos testes de avaliação da vazão de entrada (afluente) no reservatório.

Teste	Tempo (s)	Volume (L)	Vazão (L s ⁻¹)	Vazão média (L s ⁻¹)	Desvio padrão (σ)
1	60,0	1,20	0,020		
2	60,0	0,90	0,015	0,017	0,0030
3	60,0	1,00	0,017		
4	120,0	2,30	0,019		
5	120,0	2,10	0,018	0,018	0,0010
6	120,0	2,00	0,017		
7	300,0	4,70	0,016		
8	300,0	4,50	0,015	0,015	0,0005
9	300,0	4,60	0,015		
Média			0,017		

Os resultados dos parâmetros de qualidade da água de entrada do reservatório, após realizadas as coletas e análises, podem ser avaliados na Tabela 2, ressaltando que os resultados foram idênticos para as duas baterias de testes.

Tabela 2 - Resultados dos parâmetros de potabilidade simples da água de entrada do reservatório.

PARÂMETROS	27/11/2017 E 15/12/2017
pH	7,7
Turbidez (NTU)	0,71
Cloreto total (mg L⁻¹)	11,9
Condutividade à 25°C (µS/cm)	102
Cor aparente (CU)	6
Dureza total (mg L⁻¹)	35
Amônia (mg L⁻¹)	< 0,01
Sólidos Dissolvidos Totais (mg L⁻¹)	56,1
Coliformes termotolerantes	Ausência
Coliformes totais*	Presença
Bactérias Heterotróficas (UFC mL⁻¹)*	4 x 10 ³
<i>Escherichia coli</i>	Ausência
Ferro total (mg L⁻¹)	0,05
DBO_{5,20} (mg L⁻¹)	0,045
OD (mg L⁻¹)	6,5
Fósforo (mg L⁻¹ PO₃⁻⁴)	< 0,01
Nitrogênio (mg L⁻¹ NO₃⁻²)	< 0,01

*parâmetros que não atenderam as Portarias nº 2.914/2011 e de Consolidação nº 5/2017 do Ministério da saúde (MS).

Com relação à qualidade da água de entrada do reservatório, percebeu-se que os únicos parâmetros que não atenderam as exigências legais das Portarias 2.914/2011 e de Consolidação nº 5/2017 (em seu Anexo XX) do MS de potabilidade e qualidade da água para consumo humano foram as bactérias heterotróficas e coliformes totais (Tabela 2). Tal fato pode estar associado e ser justificado pela falta de manutenção (limpeza) do local onde a água da entrada fica armazenada antes de abastecer o reservatório utilizado nesse estudo.

A fase de operação do reservatório (ciclos de circulação da água no reservatório) ocorreu com vazão média de entrada de $0,015 \text{ L s}^{-1}$. A vazão de saída do reservatório (simulação de consumo) foi aproximadamente igual a vazão de entrada para que o nível do reservatório não se alterasse tanto. Cada processo de operação do reservatório durava cerca de duas horas, sendo que o reservatório sofria uma circulação de 115,2 L de água, correspondendo a 6,4% de sua capacidade máxima total.

O primeiro e o segundo ciclo de circulação tentaram representar o comportamento cotidiano do reservatório, ou seja, o consumo diário e o suprimento de água pela concessionária, sendo que o primeiro ciclo de circulação representa o fluxo de água no sentido (topo – topo), não favorecendo a mistura dentro do reservatório. E, o segundo ciclo representa o fluxo no sentido topo-fundo, favorecendo a mistura e conseqüentemente a limpeza do reservatório (Figura 4). Os períodos de armazenamento pretenderam simular por exemplo, os períodos em que a família deixa sua propriedade para uma viagem. Assim, na Tabela 3 são demonstrados todos os valores dos parâmetros de qualidade da água, seja na fase de repouso ou circulação, das saídas do reservatório em estudo.

De forma geral, aos resultados dos parâmetros de potabilidade simples e qualidade da água para todas as saídas e fases avaliadas atenderam as exigências legais estabelecidas pelas Portarias do MS 2.914/2011 e de Consolidação nº 5/2017 (em seu Anexo XX), com exceção dos parâmetros bactérias heterotróficas e coliformes totais, que já não eram atendidos mesmo para a água da entrada e que, mesmo com os processos de circulação de água do reservatório, ainda não modificaram (Tabela 3).

Tabela 3 - Resultados dos parâmetros físico-químicos e biológicos da água das saídas dos reservatórios

Parâmetros	Saída I (S-I)				Saída II (S-II)				Saída III (S-III)				Saída IV (S-IV)			
	Repouso		Circulação		Repouso		Circulação		Repouso		Circulação		Repouso		Circulação	
	10d	15d	S-IV	S-II	10d	15d	S-IV	S-II	10d	15d	S-IV	S-II	10d	15d	S-IV	S-II
	12/dez	26/jan	05/fev	15/fev	12/dez	26/jan	05/fev	15/fev	12/dez	26/jan	05/fev	15/fev	12/dez	26/jan	05/fev	15/fev
pH	7,8	7,7	7,7	7	7,9	7,7	7,8	7,0	7,6	7,7	7,7	7,1	7,9	7,7	7,7	7,1
Turbidez (NTU)	0,13	0,43	0,61	0,25	0,73	0,23	0,39	0,83	0,73	0,67	0,28	0,64	0,15	0,75	0,13	0,42
Cloreto Total (mg L⁻¹)	14,2	11,9	8,1	16,6	14,2	9,5	9,5	10,9	14,2	13,3	9,5	14,2	14,2	11,9	10,9	13,3
Condutividade à 25°C (µS cm⁻¹)	91,0	90,0	736	157	83,0	91,0	129,0	89,0	86,0	70,69	96,0	86,0	86,0	91,0	93,0	83,0
Cor Aparente (CU)	6,0	3,0	3,0	4,0	3,0	7,0	7,0	6,0	6,0	5,0	5,0	7,0	2,0	2,0	2,0	3,0
Dureza Total (mg L⁻¹)	33,0	39,0	39,0	36,0	31,0	39,0	46,0	37,0	27,0	30,0	44,0	37,0	29,0	37,0	45,0	37,0
Amônia (mg L⁻¹)	<0,01	<0,01	0,01	0,02	<0,01	<0,01	<0,01	0,02	<0,01	<0,01	<0,01	0,02	<0,01	<0,01	<0,01	0,02
Sólidos Dissolvidos Totais (mg L⁻¹)	50,05	49,5	44,8	86,35	43,65	50,05	70,95	48,95	47,3	4,23	52,8	47,3	47,3	50,05	51,15	45,65
Coliformes Termotolerantes	Au	Au	Au	Au	Au	Au	Au	Au	Au	Au	Au	Au	Au	Au	Au	Au
Coliformes Totais	Pr	Pr	Pr	Pr	Pr	Pr	Pr	Pr	Pr	Pr	Pr	Pr	Pr	Pr	Pr	Pr
Bactérias Heterotróficas (UFC mL⁻¹)	2x10 ³	2x10 ³	1x10 ³	2x10 ³	2x10 ³	>6500	2x10 ³	1x10 ³	1x10 ³	>6500	2x10 ³	1x10 ³	2x10 ³	>6500	>6500	2x10 ³
<i>Escherichia coli</i>	Au	Au	Au	Au	Au	Au	Au	Au	Au	Au	Au	Au	Au	Au	Au	Au
Ferro Total (mg L⁻¹)	0,04	0,06	0,07	<0,03	0,06	0,05	0,08	<0,03	0,05	0,05	0,08	<0,03	0,04	0,05	0,07	<0,03
DBO_{5,20} (mg L⁻¹)	0,17	0,58	0,54	0,52	0,18	0,88	0,72	0,48	0,44	0,46	0,48	0,5	0,18	0,7	0,46	0,54
OD (mg L⁻¹)	6,76	5,8	6,1	6,16	6,8	6,76	6,36	5,92	6,72	5,78	6,14	5,98	6,78	6,04	6,12	5,98
Fósforo (mg L⁻¹)	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Nitrogênio (mg L⁻¹)	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01

Nota: em vermelho, parâmetros que não atenderam as Portarias 2.914/2011 e de Consolidação nº 5/2017 do Ministério da Saúde (MS).

Au: ausência, Pr: presença.

Destaca-se que não existe restrição para o parâmetro condutividade à 25°C com relação às Portarias do MS 2.914/2011 e de Consolidação nº5/2017 (BRASIL, 2017). Porém, o valor deste parâmetro na Saída III (70,69 $\mu\text{S cm}^{-1}$) apresentou-se menor em relação as demais saídas podendo indicar quantidades menores de compostos iônicos e catiônicos nesta região (Tabela 3), ao contrário da Saída I (fundo do reservatório), evidenciando troca/mistura no processo de circulação (representa limpeza do mesmo).

Com relação aos parâmetros: pH, condutividade à 25°C, cor aparente, amônia, coliformes termotolerantes, *Escherichia coli*, ferro total, oxigênio dissolvido (OD), fósforo e nitrogênio, não houve variação significativa entre a entrada e saídas avaliadas (I a IV), apresentando maiores variações os parâmetros de turbidez e demanda bioquímica de oxigênio (DBO_{5,20}) dentro do reservatório para as fases de enchimento e circulação (Tabela 3). Tanto a turbidez quanto a DBO_{5,20} mostraram-se com índices mais elevados nas saídas avaliadas devido ao fato de que, na operação do reservatório, o fluxo de água dentro do reservatório (revolvimento e mistura) promoveu a limpeza das partículas sedimentadas em sua parte inferior, com melhor eficiência para a saída instalada mais rente ao fundo do reservatório.

Todos os valores de OD das saídas avaliadas (I a IV) na fase de armazenamento apresentaram-se pouco superiores aos valores de OD da entrada (Tabela 3), evidenciando que não houve seu consumo para a degradação da matéria orgânica, resultando em maiores valores de DBO_{5,20} após armazenamento e que com os processos de circulação foram diminuídos para as Saídas I e II, ao contrário das Saídas III e IV.

Os resultados das análises de turbidez das Saídas I a IV, tanto para a fase de armazenamento quanto circulação (Tabela 3), apresentaram-se menores que a turbidez de entrada, pois, a Saída I é a saída mais distante da entrada e está localizada no fundo do reservatório, diferentemente das Saídas II e III. Tal fato pode estar relacionado com a maior proximidade das Saídas II e III com relação à entrada e a Saída II estar captando água mais dentro do reservatório.

De toda forma, a água das Saídas II e IV apresentaram os maiores valores de DBO_{5,20} (Tabela 3), ou seja, o processo de balanço de massa dentro do reservatório, conseqüentemente, as águas distribuídas por estas saídas

apresentaram-se em menores níveis de qualidade, fato este, já detectado por simulações que utilizam *Computation Fluid Dynamics* (CFD) realizadas por Xavier *et al.* (2014).

A Figura 5 auxilia o entendimento das discussões anteriores e ilustra como se comporta o balanço de massa dentro do reservatório para as fases de armazenamento e circulação da água, onde os valores destacados nos círculos e retângulos simbolizam respectivamente, o primeiro e segundo processo de circulação, e os valores sem destaque representam a fase de armazenamento.

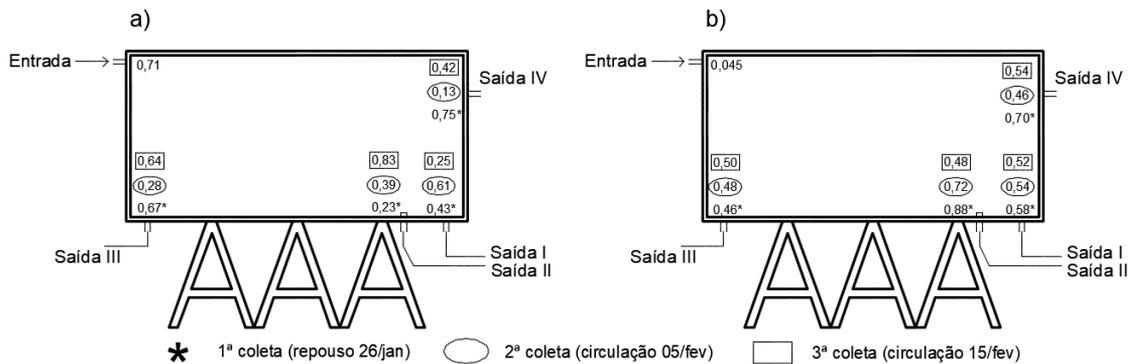


Figura 5 - Balanço de massa esquemático de mistura dentro do reservatório: a) turbidez; b) DBO_{5,20}.

Fonte: Autoria própria.

De uma forma geral, infere-se da Figura 5 que, considerando os dois ciclos de circulação de água dentro do reservatório, houve maior redução no nível de turbidez (0,25 NTU) e menor aumento da DBO_{5,20} (0,46 mg L⁻¹) nas Saídas I e III, justificados pelo tipo de execução da saída (faceada com o fundo do reservatório) e posição que auxilia a limpeza por meio do fluxo de água a ser consumido.

Conclusões

Considerando a configuração de entrada e saídas da água e geometria do modelo físico (reservatório) desenvolvido e avaliando os parâmetros de qualidade da água da entrada e saídas, foi possível concluir que:

- as diferentes configurações de saída avaliadas e os regimes de operação (armazenamento e circulação) influenciaram o comportamento do

escoamento e mistura da água dentro do reservatório, o que pode ser evidenciado pelo aumento da $DBO_{5,20}$ nas Saídas II e IV e sua diminuição nas Saídas I e III, ocorrendo aproximadamente o mesmo padrão de comportamento para a turbidez;

- os resultados das análises dos parâmetros de potabilidade e qualidade da água indicaram que as exigências legais estabelecidas pelas Portarias 2.914/2011 e de Consolidação nº 5/2017 do Ministério da Saúde (MS) são atendidas, desde que a qualidade de água da entrada também seja;
- deve-se ter maior atenção e cuidado para com os parâmetros biológicos e as bactérias heterotróficas presentes na água de entrada e saídas, que nesta pesquisa permaneceram e/ou aumentaram, com exceção da Saída I (bactérias).

Finalmente, em função de todos os resultados dos parâmetros de qualidade de água, pode-se afirmar que o reservatório proposto com configuração de entrada de água no topo e saída de água no fundo (faceada), foi a que melhor apresentou nível de qualidade da água (Saída I). Além disso, os resultados reais e práticos obtidos foram consoantes com os resultados numéricos obtidos por Xavier *et al.* (2014).

Referências

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 5.626 - *Sistemas prediais de água fria e água quente - Projeto, execução, operação e manutenção*. Rio de Janeiro, p. 56, 2020.

APHA (American Public Health Association). *Standard methods for the examination of water and wastewater*, 23 edition. Washington, DC: APHA, 2017.

BRASIL. *Portaria n. 2.914, de 12 de dezembro de 2011*. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília, DF, dez 2011.

BRASIL. *Portaria de Consolidação n. 5, de 28 de setembro de 2017*. Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de Saúde do Sistema Único de Saúde. Diário Oficial da União, Brasília, DF, set 2017.

CUPERTINO, D.; BRANDSTETTER, M. C. G. O. Proposição de ferramenta de gestão pós-obra a partir dos registros de solicitação de assistência técnica. *Ambiente Construído*, v. 15, n. 4, p. 243-265, 2015.

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). *Manual de procedimentos de amostragem e análise físico-química de água*. p.40, 2011. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/921050/1/Doc232ultimaversao.pdf>. Acesso em: 3 mar. 2017.

MARTINS, G. A.; OLIVEIRA, J. M. S.; MORAES, M. R. B.; BAFFI, M. A. Estudo epidemiológico e da qualidade da água em uma escola de ensino fundamental do município de Uberlândia, Minas Gerais: aspectos ambientais e sociais. *Revista em Extensão*, v. 14, n. 2, p. 104-121, 2015.

MOLINAS, E.; SOUZA FILHO, F. A. Modelagem numérica bidimensional da hidrodinâmica e qualidade da água em reservatório: pré-processador para o modelo CE-QUAL-W2 aplicado ao reservatório Pereira de Miranda. *Revista Tecnologia*, v. 32, n. 1, p. 31-47, 2011.

NORETE, D. N.; CORREIA, Q. B.; JOSÉ, J. F. B. S. Qualidade da água utilizada em quiosques de praia. *Revista Ambiente & Água*, v. 13, n. 2, 2018.

PEREIRA, A. C.; SILVA, M. P.; BORJA, E. V.; PEREIRA, A. C.; ANJOS, M. A. S. Obras de reabilitação das estruturas dos edifícios das antigas escolas de artes e ofícios e da casa do estudante de Natal - RN. *HOLOS*, v. 2, p. 3-24, 2010.

SILVA, G. A. B.; MEIRA, C. M. B. S.; SANTANA, C. F. D.; COURA, M. A.; OLIVEIRA, R.; NASCIMENTO, R. S.; SANTOS, W. B. Simulação do decaimento de cloro residual livre em reservatórios de distribuição de água. *Revista DAE*, v. 67, 2019.

XAVIER, M. L. M.; LIMA, P. H. S.; JANZEN, J. G. Impacto da configuração de entrada e saída sobre a mistura em reservatórios de armazenamento de água. *Eng. Sanitária e Ambiental*, Rio de Janeiro, v. 19, n. 3, p. 315-324, 2014.