

13º Congresso de Inovação, Ciência e Tecnologia do IFSP - 2022

TRATAMENTO DE ÁGUA DE CISTERNA EM ESCALA PILOTO

VINICIUS NOGUEIRA LOPES POLIDO¹, ADRIANA MARQUES²

¹Graduando em Bacharelado em Engenharia Civil, IFSP, Câmpus São Paulo, v.polido@aluno.ifsp.edu.br

²Doutora em Engenharia Mecânica, Docente no Instituto Federal de São Paulo, Departamento de Construção Civil (DCC), Câmpus São Paulo, adrimarks@ifsp.edu.br

Área de conhecimento (Tabela CNPq): 3.07.02.00-3 Tratamento de Águas de Abastecimento e Residuárias

RESUMO: O trabalho teve por objetivo estudar as características da água da cisterna do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo (IFSP), câmpus São Paulo, para usos não potáveis de modo a trazer benefícios financeiros e de segurança hídrica, além de contribuir para redução do consumo de água potável em meio ao cenário atual. Foram realizadas coletas semanais para análise das características da água, estudando os parâmetros de Alcalinidade, Condutividade Elétrica (EC), Sólidos Dissolvidos Totais (T.D.S.), Potencial Hidrogeniônico (pH), Cloro Residual e Temperatura. Utilizou-se de métodos titulométricos padronizados e medidores digitais para medição. Após o período de amostragem, um volume de 300 litros foi coletado para tratamento em uma estação piloto, passando pelos processos de coagulação, floculação, decantação e filtração com uso de Sulfato de Alumínio ($Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$) como coagulante principal. Os resultados das análises levantaram a necessidade de cloração e desinfecção da água e o elevado caráter básico, com valores máximos de pH 9,2 o que pede por mais investigações. O tratamento foi efetivo na remoção da alcalinidade da água conforme o previsto, entretanto as análises da água decantada podem trazer a possibilidade de perda de eficiência com tempos mais extensos de operação.

PALAVRAS-CHAVE: alcalinidade; sulfato de alumínio; água pluvial; coagulação; floculação

CISTERN WATER TREATMENT ON PILOT SCALE

ABSTRACT: The objective of this paper was to study the characteristics of the Federal Institute of Education, Science and Technology of São Paulo (IFSP), São Paulo campus, cistern water for non-potable uses in order to bring financial and water security benefits, contributing to reduce drinking water consumption in the current scenario. Samples were collect Weekly to analyze the water characteristics, studying the parameters of Alkalinity, Electrical Conduivity (EC), Total Dissolved Solids (T.D.S.), Hydrogen Potential (pH), Residual Chlorine and Temperature. Stardardized titrimetric methods and digital meters were used for measurement. After the sampling period, a 300 liters volume was collected for treatment in a pilot scale station, goin through coagulation, flocculation, decantation and filtration processes, using Aluminum Sulfate ($Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$) as the main coagulante. The analyzes results shows the need ofr chlorination and disinfection of the Rainwater and the high basic character, with maximum values of 9,2 pH, calls for further investigation. The treatment was effective in removing alkalinity from the water, as expected, however the analysis of the decanted water may brings the possibility of loss in efficiency with longer operating times.

KEYWORDS: alkalinity; aluminum sulfate; rain water; coagulation; flocculation

INTRODUÇÃO

Segundo o Conselho Nacional da Água (CNA), de toda a água no planeta, apenas 0,7% é água doce disponível para consumo, porém devido a atividade antrópica parte desta água encontra-se poluída. Embora o Brasil concentre cerca de 12% de toda a água no planeta, a maior parte encontra-se na região

Norte, deixando a região Sudeste com apenas 6%, mesmo sendo possuidora da maior parte da população brasileira, 42% da população (IBGE e JADE, 2018).

Dentro deste cenário, onde segundo o Relatório Mundial de Desenvolvimento da Água (WWDR – *World Water Development Report*) da Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO) as demandas de água crescerão 55% até 2050, torna-se imprescindível encontrar-se formas de reduzir os consumos de água tratada, e adotar fontes alternativas, como utilizar a água da chuva para amenizar as demandas de usos não potáveis, tais quais rega de jardins, lavagem de carros e pisos e descarga de bacias sanitárias.

Deste modo, este trabalho visou estudar as características físico-químicas da água reservada nas cisternas do Ginásio poliesportivo do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, Campos São Paulo, para verificar sua utilização para fins não potáveis e seu tratamento a partir de uma estação de tratamento de bancada, passando pelas etapas de Coagulação, Floculação, Decantação e Filtração.

MATERIAL E MÉTODOS

No IFSP-SP a água drenada pelas calhas do ginásio é encaminhada para duas cisternas de concreto, enterradas em cada lado da edificação, de onde a água pode ser bombeada para saídas junto às paredes laterais do ginásio em ambas as fachadas.

Durante o período do estudo, realizou-se coletas semanais da água reservada nas cisternas com uso de um balde graduado, nas quais cronometrou-se o tempo de operação e o volume coletado de 5 (cinco) amostras por operação de coleta, e a última amostra coletada passou por testagem das características físico-químicas visando caracterização da água, sendo realizada a ambientação dos recipientes utilizados no processo e medidos o Potencial Hidrogeniônico (pH), Temperatura, Condutividade (EC), Sólidos Totais Dissolvidos (T.D.S), Alcalinidade e Cloro.

POTENCIAL HIDROGENIÔNICO (pH)

Utilizaram-se dois métodos para determinação do pH da água analisada. Pelo método do Vermelho de Fenol, para águas com pH entre 6,8 e 8,2, sendo utilizado um kit de testagem para águas de piscina padronizado e por peagâmetro digital tipo caneta, calibrado em solução padrão de pH 6,86 e pH 4,01 a 25 graus Celsius (°C). A adoção de duas metodologias distintas garantiu maior precisão, uma vez que se encontraram valores de pH acima dos limites de significância do Vermelho de Fenol.

CLORO

Para determinação do Cloro residual foi utilizado o método do Cloridrato de Orto-Toluidina, para valores de Cloro residual entre 0,5 e 5,0 partes por milhão (ppm), sendo utilizado um kit de testagem para águas de piscina padronizado.

CONDUTIVIDADE ELÉTRICA (EC) E SÓLIDOS TOTAIS DISSOLVIDOS (T.D.S)

A medição da condutividade elétrica deu-se com uso de um condutivímetro digital apresentando valores em microsiemens por centímetro ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$), sendo realizada para todas as testagens executadas. Já os Sólidos Totais Dissolvidos (T.D.S) são definidos a partir de correlação com a EC, realizada pelo próprio medidor, em uma proporção de dois microsiemens por centímetro ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) para uma parte por milhão (ppm) de T.D.S.

ALCALINIDADE

Na testagem da alcalinidade total utilizou-se teste pronto para piscinas com seringa pré-calibrada segundo NBR 13736:1996, obtendo-se concentrações em miligramas por litro ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) de Carbonato de Cálcio (CaCO_3).

TRATAMENTO EM ESCALA PILOTO

Para realização do tratamento em escala piloto, coletou-se 300 litros de água bruta da cisterna direita do ginásio. O tratamento na estação deu-se com uso de uma solução de Sulfato de Alumínio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3\cdot 14\text{H}_2\text{O}$). Para o estudo tomou-se a concentração de coagulante (Sulfato de Alumínio) de 28 miligramas por litro (mg/L) segundo alcalinidade de 56 mg/L de CaCO_3 testada antes do tratamento.

A água bruta foi bombeada para o tanque a uma velocidade de 110 litros por hora (L/h) onde deu-se a coagulação com a maior rotação do agitador disponível, sendo acrescido coagulante a uma velocidade de 3 L/h e coletada uma amostra inicial, a floculação ocorreu com agitação na menor rotação disponível para o agitador e coletada a amostra. No tanque de decantação coletou-se a amostra após 20 minutos de funcionamento do sistema. Novas amostras da água bruta, coagulada e floculada foram coletadas após 25 e 40 minutos, com uma segunda amostra da água decantada com 45 minutos. O sistema foi mantido em operação por uma hora e após desligamento do sistema retirou-se uma amostra do coagulante restante no tanque do concentrado e testou-se todas as amostras coletadas.

Após análises retirou-se um litro de água decantada, para passagem por um filtro natural de areia, cascalho e carvão, sendo descartados os primeiros 60 ml de água filtrada e coletada os próximos 60 ml para testagem.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dos testes realizados com as últimas amostras coletadas das cisternas em cada dia, pode verificar as características físico-químicas médias da água. Os resultados das testagens são apresentados na Tabela 01.

TABELA 01. Resultados das análises das amostras de água das cisternas do ginásio do IFSP-SP

Amostra	pH	Alcalinidade (mg/L CaCO ₃)	EC ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	T.D.S. (ppm)	Temperatura (°C)	Cloro (ppm)
1	7,9	88	220	110	23,3	0**
2	7,3	34*	49	24	22,0	0**
3	8,4	54	56	28	20,4	0**
4	8,3	36*	87	43	21,2	0**
5	8,7	70	61	30	20,5	0**
6	9,2	68	84	40	20,7	0**

*: Os valores bem abaixo dos demais são atribuídos a fortes chuvas ocorridas na semana da coleta; **: Os valores observados de Cloro residual nos testes com Orto-Toluidina foram todos abaixo da faixa mínima de 0,5 ppm, não apresentando alteração de cor.

Conforme os dados apresentados na Tabela 01, obteve-se as médias de $8,32 \pm 0,67$ pH; $58,33 \pm 21,07$ mg/L de CaCO₃ para a Alcalinidade; $92,83 \pm 64,15$ $\mu\text{S}/\text{cm}$ para Condutividade; $45,92 \pm 32,20$ ppm para T.D.S.; e $21,35 \pm 1,12$ °C para a Temperatura.

Os valores de Alcalinidade apresentaram grandes variações durante o período de análise devido a fortes chuvas em algumas das semanas de coleta, provocando diluição dos sais alcalinos na água armazenada na cisterna. Já os valores de EC e consequentemente T.D.S., obtiveram grandes variações em decorrência da primeira análise de 220 $\mu\text{S}/\text{cm}$, possivelmente mais elevada em decorrência da temperatura da água superior as demais amostras, ao analisar-se os dados sem este teste, obtemos médias de $67,4 \pm 17,10$ $\mu\text{S}/\text{cm}$ e $33,10 \pm 7,99$ ppm para EC e T.D.S. respectivamente, valores estes com menor variabilidade e maior confiança.

Analisando os parâmetros isoladamente percebe-se que o pH apresentou crescimento constante durante o período do estudo com variações entre pH mínimo de 7,3 e máximo de 9,2. Valores muito acima do esperado para chuva que tende a apresentar caráter ácido em decorrência da presença de ácidos como Ácido Carbônico (H₂CO₃), Ácido Nítrico (HNO₃) e Ácido Sulfúrico (H₂SO₄) oriundos da reação com poluentes atmosféricos e oxidação do nitrogênio em tempestades (Singh e Agrawal, 2006).

Mesmo com os valores alcalinos da água, os parâmetros encontrados atendem aos padrões para descarte de efluentes de pH entre 5 e 9, como disposto na Resolução N° 430/2011 do CONAMA que altera a Resolução N° 357/2005 que discorre sobre os padrões para lançamento de efluentes, e o disposto para água de consumo humano de pH entre 6,0 e 9,5, na Portaria N° 888/2021 do Ministério da Saúde que discorre sobre padrões de potabilidade. Entre tanto, para utilização de água da chuva para fins não potáveis, a NBR 15527/2019 exige ajuste de pH entre 6,0 e 8,0 no caso de tubulações de aço carbono ou galvanizadas.

Com relação à Condutividade Elétrica e aos Sólidos Totais Dissolvidos, não foram encontrados limites normativos brasileiros para estes parâmetros, porém segundo a Agência de proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA – U.S. Environmental Protection Agency) um limite de 500 mg/l é estabelecido para garantir um sabor agradável à água potável.

TRATAMENTO EM ESCALA PILOTO

Com as análises das amostras coletadas durante o processo de tratamento da água da cisterna foi elaborada a Tabela 02 apresentada a seguir.

TABELA 02. Resultados das análises dos parâmetros físico-químicos da água durante as etapas do tratamento em escala piloto para os tempos iniciais, finais, 25 e 40 minutos de operação.

ETAPA	TEMPO (min.)	pH	Alcalinidade (mg/L CaCO ₃)	T.D.S. (ppm)	EC (µS.cm ⁻¹)	Temperatura (°C)
Cisterna	Inicial	8.50	56	40	81	18.5
Coagulação	Inicial	8.54	-	51	103	19.8
	25	8.19	88	44	88	20.3
	40	8.41	45	42	84	21.5
	Inicial	8.55	-	45	90	20.2
Floculação	25	8.34	62	43	86	20.7
	40	8.47	40	43	87	21.3
	Decantação	20	7.93	46	31	63
Decantação	45	8.30	30	42	84	20.8
	Coagulante	Inicial	8.14	10	30	61
Filtragem	Final	2.89	0	1570	3150	20.5

Observou-se aumento inicial dos parâmetros analisados, provocados pelo incremento do coagulante, as reações entre o Sulfato de Alumínio (Al₂(SO₄)₃·14H₂O) e a água provocam aumento de temperatura durante o processo, porém conforme as etapas do tratamento progredirem, os parâmetros tendem a se estabilizar e a atingir patamares inferiores aos iniciais, ocorrendo reduções em todos os parâmetros, exceto a temperatura. Os valores obtidos para a decantação aumentam entre as análises de 20 e 40 minutos, o que pode ser explicado pelas hipóteses de perda de eficiência em decorrência do aumento no tempo de floculação, acarretando na ruptura permanente dos flocos formados na etapa da floculação (MARQUES, R.M.; FERREIRA FILHO, S.S., 2017); hipótese de sucção de mais material sedimentado pela bomba do tanque de água bruta, ocorrendo variações nos parâmetros analisados; ou pelo maior tempo de decantação acarretar a sedimentação das partículas em suspensão que influenciariam os resultados da análise mais tardia.

Os resultados obtidos após filtragem mostram a total remoção da alcalinidade, como previsto para a concentração de coagulante adotada conforme alcalinidade inicial. As médias dos parâmetros analisados durante o processo de tratamento foram de 52,29 ± 18,79 mg/l de CaCO₃ para alcalinidade; 42,56 ± 5,17 ppm para T.D.S.; 85,56 ± 10,28 µS/cm para EC; 8,33 ± 0,20 para o pH; e 20,46 ± 0,72 °C para Temperatura. E apresentando redução entre a última coleta da água decantada e a água bruta de 46,43% (26 mg/l de CaCO₃) para alcalinidade; 2,35% (0,2) para o pH; e aumento de 5% (2 ppm) para T.D.S.; 3,7% (3 µS/cm) para EC; 12,43% (2,3 °C) para Temperatura. Variações significantes somente para alcalinidade e temperatura.

CONCLUSÕES

Conclui-se que a maioria das características da água estudada não constam nos requisitos da NBR 15527/2019 que dita a utilização de água da chuva para fins não potáveis, devendo ser avaliada também a presença de coliformes totais, termotolerantes, Turbidez e Cor aparente, testes que não foram possíveis de se realizar. Porém os parâmetros específicos analisados atenderam ao disposto nas portarias do Ministério da Saúde e do CONAMA, e aos critérios de palatabilidade da água da USEPA para T.D.S., devendo, porém, haver clorações e desinfecções na água, além de um estudo mais aprofundado quanto ao elevado teor alcalino encontrado para a água da cisterna. Já quanto ao tratamento em bancada, verificou-se a redução efetiva da alcalinidade conforme pressuposto para as proporções de Sulfato de Alumínio (Al₂(SO₄)₃·14H₂O) previstas, o que viabiliza o seu uso para finalidade secundária não potável.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13736**: Água - Determinação de alcalinidade - Métodos potenciométrico e titulométrico. Rio de Janeiro, 1996. 4 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15527**: Água da chuva – Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – Requisitos. Rio de Janeiro, 2019. 10 p.

BRASIL. Ministério da Saúde. Gabinete do Ministro. Portaria 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**, Brasília, DF, n. 85, p. 127. 07 maio 2021. Seção 1. [Acessado 24 de setembro de 2022]. Disponível em: < <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-888-de-4-de-maio-de-2021-318461562>>

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução Conama Nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, n. 53, p. 58-63. 18 mar. 2005. [Acessado 24 de setembro de 2022]. Disponível em: < <http://conama.mma.gov.br/component/sisconama/?view=atosnormativos>>

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução Conama Nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, n. 92, p. 89. 16 maio 2011. [Acessado 24 de setembro de 2022]. Disponível em: < <http://conama.mma.gov.br/component/sisconama/?view=atosnormativos>>

CONSELHO NACIONAL DA ÁGUA (CNA). Água no Planeta Terra. **Conselho Nacional da Água**. Lisboa, Portugal: CNA, 2013. [Acessado em 24 de setembro de 2022]. Disponível em: <https://conselhonacionaldaagua.weebly.com/aacutegua-no-planeta-terra.html#_ftn1>.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais**, Estimativas da população residente com data de referência 1o de julho de 2020. Rio de Janeiro: IBGE, 2020 [Acesso 25 de setembro 2022]. <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados>>

JADE, LÍRIA. Onde está a água no Brasil. *In*: EBC – Empresa Brasil de Comunicação. **EBC**. Brasília, 2018. [Acessado em 24 de setembro de 2022]. Disponível em: <<https://www.ebc.com.br/especiais-agua/agua-no-brasil/>>

MARQUES, RODRIGO DE OLIVEIRA; FERREIRA FILHO, SIDNEY SECKLER. I-047 - Modelagem matemática do processo de ruptura irreversível de flocos, CONGRESSO ABES/FENASAN, 29., 2017, São Paulo. **Anais eletrônicos**. São Paulo: ABES. 2017. [Acessado 24 de setembro de 2022] pp. 1-8. Disponível em: < <https://abesnacional.com.br/XP/XP-EasyArtigos/Site/Uploads/Evento36/TrabalhosCompletoPDF/I-047.pdf>>

SINGH, ANITA; AGRAWAL, MADHOOLIKA. Acid rain and its ecological consequences. **Journal of Environmental Biology [online]**. Lucknow (India), 2018, v. 29, n. 1 [Acessado 25 de setembro 2022], pp. 15-24. Disponível em: <http://www.jeb.co.in/journal_issues/200801_jan08/paper_02.pdf>

WORLD WATER ASESMENT PROGRAMME (UNESCO). **The United Nations world water development report 2015**: water for a sustainable world. Paris, França. 2015. E-book (139p.) (World Water Development Reports) [Acessado em 24 de setembro de 2022], pp. 1-16. Disponível em: <<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000231823>>. ISBN 978-92-3-100080-5 (set), 978-92-3-100071-3, 978-92-3-100099-7 (ePub)