

VULNERABILIDADE DO AQUIFERO DO VALE DO AÇO E ALTERNATIVAS PARA CAPTAÇÃO DE ÁGUA PARA ABASTECIMENTO PÚBLICO: ESTUDOS INICIAIS EM JAR TEST

DOI: <http://dx.doi.org/10.55449/congea.16.25.IX-006>

Flávio José de Assis Barony (*), Augusto Artuso Rodrigues, Davi Augusto de Paula Santos, Erick Brizon D Angelo Chaib, Fernando Castro de Oliveira

* CEFET – MG. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – campus Timóteo. E-mail: flaviobarony@cefetmg.br

RESUMO

Desde 1977, no Brasil, o estabelecimento das normas e do padrão de potabilidade de água a serem seguidos para a minimização dos riscos à saúde pública é de responsabilidade do Ministério da Saúde. Diante da notória importância do atendimento aos padrões de potabilidade e demais critérios normativos para a seguridade da qualidade das águas destinadas ao abastecimento público, o presente estudo teve como objetivo analisar preliminarmente a potencialidade do tratamento da água do córrego Timóteo como fonte alternativa de abastecimento público. Para isso, adotou-se como metodologia a realização de ensaios com *Jar Test* para fins de simulação do tratamento convencional da água, a fim de determinar a concentração com melhor rendimento para as empresas de tratamento. Foram coletadas amostras mensalmente, ao longo de 8 meses, no curso d'água considerado visualmente com a maior vazão da região e a partir disto foi realizado os ensaios em *Jar Test*, mensurando a turbidez da água bruta e após o ensaio para fins de determinação da melhor concentração do coagulante, no caso, Sulfato de Alumínio. Complementarmente, foi analisada a concentração de Ferro da água bruta e do jarro que apresentou a melhor viabilidade no ensaio. Com os resultados foi possível observar que a turbidez da água bruta oscilou de 40,9 uT a 3000 uT ao longo do monitoramento, muito provavelmente influenciado pelas características da bacia, com vasta área degradada e que favoreceu o carreamento de sedimento para o curso d'água. Após os ensaios, o melhor resultado foi obtido na concentração de 50 g/L de sulfato de alumínio com 2 mL da solução, mediante tempo de decantação de 40 minutos. A análise de Ferro demonstrou viabilidade para remoção tendo em vista os resultados obtidos da água após as análises, que nos parâmetros da máquina utilizada foram de 0,00 de absorvância. Diante dos resultados preliminares, entende-se que há indicadores favoráveis em utilizar o manancial como fonte alternativa, todavia, outros estudos complementares serão determinantes, em especial, sobre a oscilação da vazão ao longo do ano e sua compatibilidade em atender a demanda populacional, além da avaliação de outros contaminantes específicos.

PALAVRAS-CHAVE: Água, *Jar Test*, Manancial, Plano de Segurança da Água, Tratamento de água.

INTRODUÇÃO

Timóteo e demais municípios do Vale do Aço (Timóteo, Coronel Fabriciano, Ipatinga e Santana do Paraíso) utilizam o aquífero subterrâneo situado nas margens do Rio Piracicaba como manancial de abastecimento público.

Todavia, a bacia do Rio Piracicaba é vulnerável quanto ao comprometimento desse manancial em função das 34 barragens de rejeito (CBHDOCE, 2023) de mineração situadas à montante, em especial, nos municípios de Itabira e São Gonçalo do Rio Abaixo. Em caso de rompimento de barragens e/ou outros desastres que possam comprometer o manancial em questão, outras alternativas terão que ser avaliadas para fins de captação de água. Tais alternativas passam por qualidade e vazão suficientes para suprir a demanda regional e/ou a descentralização dos mananciais de cada município.

À título de exemplo, em 2015 ocorreu a ruptura da barragem da empresa Samarco, em Mariana- MG, e várias cidades ficaram comprometidas quanto ao abastecimento de água, especialmente, Governador Valadares, a qual fazia captação superficial no Rio Doce. Tal comprometimento da qualidade da água levou a alterar a captação para outro manancial com uma adutora de 38 Km de extensão, com capacidade de 900 L/s e ao alto custo de R\$ 155 milhões, via Fundação Renova, como medida compensatória (CMGV, 2023).

Ainda que nessa fase do projeto aqui proposto não seja contemplado o monitoramento da vazão da bacia do córrego Timóteo na sua foz no Rio Piracicaba (próximo à ponte “nova” que interliga esse município com Coronel Fabriciano), estima-se que este receba aproximadamente 60% da drenagem do território urbano do município e é mister que estudos quanto a alternativas de captação sejam previamente estabelecidos para eventuais planos de contingências. Cabe ainda destacar que 75% das ETAs (Estação de Tratamento de Água) no Brasil são processos convencionais de (etapas de

coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção) (AMARAL e GUIMARÃES, 2024), sendo uma configuração comum para mananciais de captação superficial, o que difere do Vale do Aço, onde a concessionária (COPASA) utiliza água subterrânea e dispõe de ETA simplificada, que representa 20% das ETAs do Brasil.

A eventual mudança de manancial pode implicar na necessidade de uma nova ETA em função das características da água bruta. Todos esses aspectos ratificam a necessidade de desenvolver estudos que visem estabelecer o Plano de Segurança da Água (PSA), o qual segue diretrizes da OMS (Organização Mundial de Saúde).

OBJETIVOS

OBJETIVO GERAL

Avaliar a potencialidade do tratamento da água do córrego Timóteo como fonte de alternativa de abastecimento público.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Realizar ensaios de *Jar Test* para fins de simulação do tratamento convencional da água;
2. Determinar a concentração de coagulante com melhor rendimento em termos de turbidez da água;
3. Avaliar a eficiência do sulfato de alumínio na remoção de turbidez da água de um rio utilizando o ensaio de jarro (*Jar Test*);
4. Determinar a concentração de ferro no melhor resultado de turbidez obtido após o Ensaio de *Jar Test*.

METODOLOGIA

A coleta das amostras foi mensal, ao longo dos meses de janeiro/2025 a Agosto/2025 (projeto em andamento). Para tal, foram coletados 50L de água mensalmente na foz do córrego Timóteo, na proximidade da “ponte nova” entre Timóteo e Coronel Fabriciano. Tal volume permitirá o ensaio de até 4 baterias, haja vista que necessita de 12 L por batelada (6 jarros de 2 L cada). A figura 1 abaixo apresenta o local do ponto de coleta, onde inclusive já ocorre o monitoramento de outros parâmetros da qualidade da água (DBO, DQO, OD, E. coli, Turbidez e outros) por meio de outro projeto dos mesmos autores.



Figura 1: Proximidade do Córrego Timóteo com o Rio Piracicaba. Fonte: Autores (2025)

No laboratório, foi utilizado o equipamento *Jar Test* com capacidade para 6 jarros e possibilidade de 3 dosagens simultâneas. Os jarros dispõem de válvulas para direcionar a água para coletores localizados em sua base. A figura 2 ilustra o equipamento utilizado.

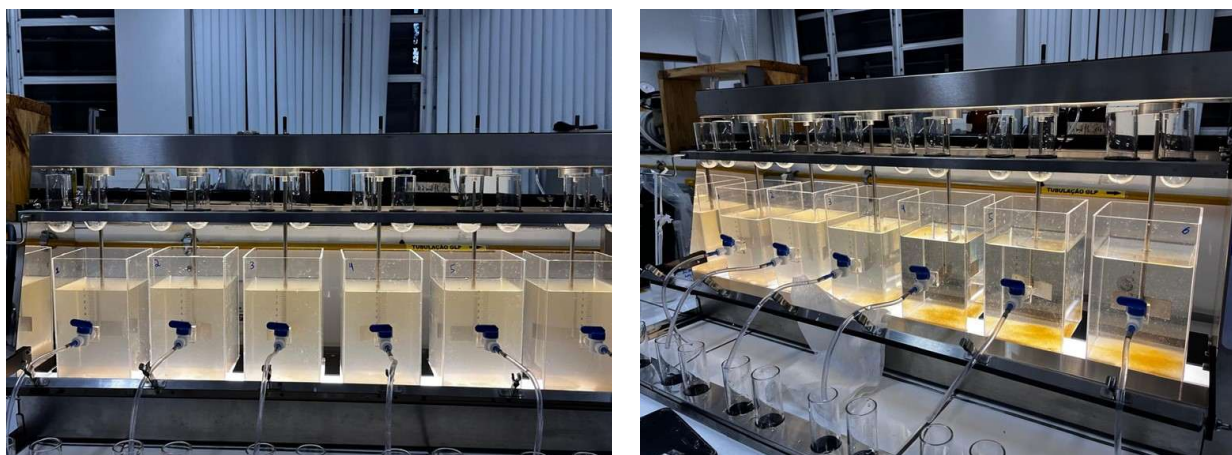


Figura 2: Equipamento de Jar Test. Fonte: Flávio Barony (2025)

A amostra foi inserida nos 6 jarros, sob diferentes dosagens de coagulante e alcalinizante, de forma a buscar a dosagem com melhor resultado em termos de turbidez. Comumente, prepara-se uma solução de sulfato de alumínio a 5%, dissolvendo 50 g do coagulante em 1 L de água destilada. Essa concentração é utilizada como referência inicial em testes de tratabilidade. Em seguida, adiciona-se diferentes doses de sulfato de alumínio (1 a 64 mL, buscando o ajuste da melhor dosagem) em cada cubeta dosadora, garantindo uma variação na concentração para identificar a dose mais eficiente. Na literatura há outros valores de referência (ROCHA et al., 2019) e os mesmos podem ser ajustados em função da característica da água do córrego Timóteo. Para ajustes do pH, a faixa ótima de coagulação do sulfato de alumínio (geralmente entre 6 e 7) usando soluções de ÁGUA DE CAL 10% hidróxido de cálcio (CaOH) ou ácido sulfúrico (H₂SO₄). A mistura rápida foi iniciada com 200 rpm por 2 minutos para garantir a dispersão homogênea do coagulante e reduzida para 50 rpm por 20 minutos, deixando outros 20 e 40 minutos de decantação, respectivamente, para coleta de amostras para verificação da turbidez por meio do Turbidímetro Portátil. O tempo de decantação foi adaptado a partir do trabalho de KNEVITZ (2017). Os resultados de turbidez por jarro foram tabulados para fins da determinação da concentração ótima de sulfato de alumínio que proporcionou a maior redução da turbidez. O Laboratório de Microbiologia e Química Geral conta com infraestrutura completa para os Ensaios de *Jar Test*. Além disto, há infraestrutura complementar, tais como: Destilador de água, phmetro, solução padrão para calibração do pHmetro, Turbidímetro, solução de calibração do Turbidímetro, geladeira, balança analítica e diversas vidrarias para coleta de amostra e etapas analíticas (Béqueres, pipetas, Balões volumétricos, Provetas). O campus também disponibilizou a caminhonete e combustível utilizado para a coleta de campo. A figura 3 abaixo ilustra as instalações do Laboratório.



Figura 3: Estrutura geral do Laboratório (à esquerda e centro) e Turbidímetro Portátil (à direita). Fonte: Autores (2025)

Alguns critérios operacionais adotados durante os testes, sendo: a) o jarro 1 foi adotado como “testemunha”, ou seja, sem adição de nenhum produto; b) Fazer apenas a variação de 1 parâmetro por bateria de testes (pH, dosagem do

coagulante, tempo de agitação e outros); c) As soluções devem ser preparadas e utilizadas no mesmo dia para evitar a degradação química; d) O quantitativo de chuva no período compreendido da coleta foi apurado a partir da coleta de dados da Estação Automática do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), localizada no município de Timóteo. A tabulação dos dados ocorreu por decêndio e posteriormente agrupados mensalmente (INMET, 2024).

RESULTADOS

Ao longo de cada mês, deu-se a coleta de campo. Foram realizados, em média, 4 ensaios em cada coleta de campo para fins de obtenção do melhor ensaio em *Jar Test*. A tabela 1 abaixo apresenta o resultado do melhor ensaio mês a mês.

Tabela 1 – Resultado do melhor ensaio em ao longo dos 8 meses de monitoramento, com a menor turbidez obtida após 20 minutos e 40 minutos de decantação

JANEIRO						
Turbidez água bruta	Aproximadamente 3000 uT *1					
pH água bruta/ajustado	7,5					
Jarros	1	2	3	4	5	6
Sulfato de alumínio - mL	0	8	16	32	64	50
Turbidez - uT - após 20 min	~ 3000	332	70,7	53,7	44,4	14,5
Turbidez - uT - após 40 min	~ 3000	394	60,3	20,6	20,8	19,6
FEVEREIRO						
Turbidez água bruta	55,9 Ut					
pH água bruta/ajustado	8,09					
Jarros	1	2	3	4	5	6
Sulfato de alumínio - mL	0	1	2	4	8	16
Turbidez - uT - após 20 min	51,1 *2	7,7	1,64	2,6	4,2	6,05
Turbidez - uT - após 40 min	55,9	2,7	0,8	2,89	3,78	3,49
MARÇO						
Turbidez água bruta	40,9 uT					
pH água bruta/ajustado	9,15					
Jarros	1	2	3	4	5	6
Sulfato de alumínio - mL	0	1	2	4	8	16
Turbidez - uT - após 20 min	35, 9	4,86	2,56	4,78	4,66	5,72
Turbidez - uT - após 40 min	21,5	6,94	0,98	2,08	2,07	1,68

ABRIL						
Turbidez água bruta	40,9 uT					
pH água bruta/ajustado	7,43					
Jarros	1	2	3	4	5	6
Sulfato de alumínio - mL	0	0,5	1	2	3	4
Turbidez - uT - após 20 min	37,9	31,6	16,9	1,88	4,44	4,99
Turbidez - uT - após 40 min	27,6	24,4	13,1	0,76	1,38	2,29
MAIO						
Turbidez água bruta	123 uT					
pH água bruta/ajustado	7,03					
Jarros	1	2	3	4	5	6
Sulfato de alumínio - mL	0	0,5	1	2	3	4
Turbidez - uT - após 20 min	73,4	70,2	69,8	45,7	12,6	10,1
Turbidez - uT - após 40 min	70,5	69,8	69,1	41,7	4,52	4,91
JUNHO						
Turbidez água bruta	85,2 uT					
pH água bruta/ajustado	7,53					
Jarros	1	2	3	4	5	6
Sulfato de alumínio - mL	0	1	2	3	4	5
Turbidez - uT - após 20 min	11,4	1,44	2,98	7,02	4,1	3,53
Turbidez - uT - após 40 min	8,57	0,64	0,82	0,84	1,43	1,17
JULHO						
Turbidez água bruta	64,9 uT					
pH água bruta/ajustado	7,36					
Jarros	1	2	3	4	5	6
Sulfato de alumínio - mL	0	1	2	3	4	5
Turbidez - uT - após 20 min	28,1	15,6	5,01	4,02	4,86	5,47

Turbidez - uT - após 40 min	26,4	13,4	0,96	2,38	3,05	3,83
AGOSTO						
Turbidez água bruta	86,5 uT					
pH água bruta/ajustado	8,20					
Jarros	1	2	3	4	5	6
Sulfato de alumínio - mL	0	1	2	3	4	5
Turbidez - uT - após 20 min	16,7	12	7,95	2,44	1,1	2,27
Turbidez - uT - após 40 min	13,4	9,67	7,6	2,44	1,18	0,44

- (1) A turbidez foi determinada por cálculos químicos em função do limite de medição do turbidímetro (1000 uT)
(2) Variação normal para fins de medição por amostragem

De forma geral, foi adotado a concentração de sulfato de alumínio em 5%, agitação rápida de 2 minutos, agitação lenta de 20 minutos e tempo de decantação de 20 e 40 minutos. Ao longo dos testes a dosagem de Sulfato de Alumínio foi reduzida para se obter a melhor dosagem entre os ciclos dos ensaios. Embora sejam dados iniciais, tem-se alguns indicadores quanto à melhor dosagem para cada mês de coleta.

Em janeiro a turbidez da água bruta superou o limite de detecção do equipamento (1000 UT) e foi calculada para aproximadamente 3000, elevação considerável de tal parâmetro devido ao período chuvoso, como analisou Silva e Bastos (2009). O pH obtido de 7,5 na água bruta foi mantido para fins da dosagem de sulfato de alumínio, que normalmente é de 6,5 a 8,0, conforme Lemos e Filho (2020).

Em fevereiro foi observada a redução na turbidez da água bruta, que se justifica pelo início do período de estiagem. No mês de março a água bruta estava com turbidez de 40.9 uT e pH 7.15, demonstrando a grande oscilação que ocorre em função da sazonalidade.

O melhor resultado após os ensaios foi de 0,98 UT, com 40 minutos de decantação, resultado este que acorda com a literatura de Matos e Cabanellas (2007), ao abordar que o sulfato de alumínio é um bom coagulante para pH mais básico. No mês de abril o melhor resultado obtido foi de 0,76 NTU após 40 minutos de decantação. Mais uma vez, foi possível demonstrar que o tempo de decantação mais elevado colabora para uma maior formação de flocos e, consequentemente, para uma redução mais elevada na turbidez. Na coleta de abril também foi realizada a análise da concentração de ferro, que apesar de não ser tóxico, compromete a qualidade da água, uma vez que confere cor e sabor na amostra coletada (RIGUETO, 2014). A água bruta apresentou uma concentração de íons de ferro de 2,69 mg/L, um valor acima da concentração permitida pela Portaria n.º 888/2021 (BRASIL, 2021), do Ministério da Saúde, que é de 2,4 mg/L. Contudo, após o ensaio, Fe reduziu para 2,17 mg/L, valor que atende a legislação.

No mês de maio, a água bruta apresentou uma turbidez de 123 NTU e pH de 7,0. Esses valores representam uma elevação significativa em relação aos meses anteriores, o que pode ser atribuído ao escoamento superficial ainda presente no período de transição entre o regime chuvoso e a estiagem, conforme discutido por Silva e Bastos (2009), ou mesmo eventual pico em função de alguma atividade à montante neste corpo receptor. Por outro lado, em junho, foi observado uma melhoria na qualidade da água bruta, com turbidez de 85,2 NTU e pH de 7,53. A redução da turbidez em relação ao mês anterior é coerente com o avanço do período seco, que tende a diminuir o arraste de sedimentos para os corpos d'água, assim, no mês de julho, os parâmetros iniciais da água bruta indicaram continuidade na tendência de estabilização, com turbidez de 64,9 NTU e pH de 7,36. A menor incidência de chuvas típicas do inverno contribuiu para a redução na quantidade de sólidos em suspensão nos mananciais, como observado por Matos e Cabanellas (2007), favorecendo o desempenho dos processos convencionais de tratamento.

CONCLUSÕES

Embora ainda na fase inicial dos ensaios em *Jar Test*, este trabalho indica que os resultados encontrados até então demonstraram viabilidade quanto a redução da turbidez utilizando o coagulante sulfato de alumínio para fins de tratamento da água no manancial alternativo, apesar da grande oscilação da turbidez em função da sazonalidade.

Ademais, estudos complementares serão necessários para determinar se a vazão do manancial atenderia o abastecimento público durante o período de estiagem, bem como se há outros contaminantes específicos que possam comprometer o tratamento de água para fins de abastecimento público.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AMARAL, M. C. S.; GUIMARÃES, R. (Org). **Ensaio de Tratabilidade de água em cenários de rompimento de barragens de rejeito de mineração**. Belo Horizonte – MG: Incipit. 180p. 2024.
2. BRASIL. Ministério da Saúde. Gabinete do Ministro. **Portaria GM/MS nº 888, de 4 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, Seção 1, nº 85, p. 127, 7 maio 2021. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2021/prt0888_07_05_2021.html. Acesso em: 11 jun. 2025.
3. CBHDoce. Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Doce. 2023. Disponível em: < https://www.cbhdoce.org.br/wp-content/uploads/2023/10/1454-ANA-07-RH-RT-0003-R3_DO2.pdf >. Acesso: 08 de set. 2025.
4. CMGV – Câmara Municipal de Governador Valadares. Início da nova captação de água em Governador Valadares. Notícia veiculada no site da Câmara Municipal. 2023. Disponível em: < <https://www.camaragv.mg.gov.br/detalhe-da-materia/info/inicio-da-nova-captacao-de-agua-em-governador-valadares/118436> >. Acesso: 07 de Jul. 2024.
6. INMET. **Instituto Nacional de Meteorologia**. Dados obtidos via Estação Automática. Disponível em: < <https://tempo.inmet.gov.br/TabelaEstacoes/A511> >. Acesso: 20 Jun. 2025.
7. KNEVITZ, L. A. **Avaliação da eficiência de remoção de turbidez de um sistema de clarificação**. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Química. UFRGS. 2017. Disponível em: < <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/165251/001045367.pdf?sequence=1&isAllowed=y> >. Acesso: 21 de Jul. 2025.
8. LEMOS, Karita Santos; FILHO, Silvio Quintino de Aguiar; CAVALLINI, Grasielle Soares. **Avaliação comparativa entre os coagulantes de sulfato de alumínio ferroso e policloreto de alumínio para tratamento de água: estudo da viabilidade econômica**. Desafios. Tocantins, v. 07, n. 1, p. 109-119, 2020. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/304913986.pdf>. Acesso em: 07 jun. 2025.
9. MATOS, Antonio T; CABANELLAS, Cláudia F.G.; CECON, Paulo R.; BRASIL, Mozart S.; MUDADO, Cláudio S. **Efeito da concentração de coagulantes e do pH da solução na turbidez da água, em recirculação, utilizada no processamento dos frutos do café**. Eng. Agríc. Jaboticabal. v.27, n. 2, p. 544-551, 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/eagri/a/KLGCC9tLj448ybBqc4Kj5Z6k/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 09 jun. 2025.
10. RIGUETO, Yohana Ribeiro. **Determinação de ferro em água por espectrofotometria**. 2017. 34 f. Monografia (Graduação em Química) – Instituto de Ciências Exatas, Universidade Federal Fluminense, Volta Redonda, 2017. Disponível em: <https://app.uff.br/riuff/bitstream/handle/1/5313/Monografia%20Yohana%20Ribeiro%20Riguetto%20%20FINALIZADA.pdf>. Acesso em: 14 jun. 2025.
11. ROCHA, J. T.; et al. **EMPREGO DO SULFATO DE ALUMÍNIO E DO POLÍMERO POLIACRILAMIDA ANIÔNICA NO TRATAMENTO FÍSICO-QUÍMICO DA ÁGUA DE ABASTECIMENTO DO MUNICÍPIO DE TANGARÁ DA SERRA – MT**. X Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental – Fortaleza – CE. 2019. Disponível em: < <https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2019/IX-060.pdf> >. Acesso: 06 de Jul. de 2025.
12. SILVA, Ana Paula de Souza; Dias, Herly Carlos Teixeira; BASTOS; Rafael Kopschitz Xavier; SILVA, Elias. **Qualidade da Água do Reservatório da Usina Hidrelétrica (UHE) de Peti, Minas Gerais**. Árvore. Viçosa, v. 33, n. 6, p. 1063-1069, 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rarv/a/KJTnCSx3rJfPkpNPWp63WmC/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 07 jun. 2025.