

Análise comparativa dos métodos de Mohr e Fajans na determinação de cloreto em águas de poços artesianos da Região Norte Capixaba

Cristiane P. C. Ferreira (PG)¹, Wilma C. Josefa (PG)¹, Jane S. de Medeiros* (PG)¹, Cristina M. Sad* (PQ)¹

¹ Universidade Federal do Espírito Santo - Campus Vitória

Resumo: O monitoramento do íon cloreto (Cl^-) é um parâmetro essencial para a avaliação da qualidade da água destinada ao consumo humano, sendo regulamentado pela Portaria GM/MS nº 888/2021. Este trabalho teve como objetivo determinar a concentração de cloreto em cinco amostras de água de poços artesianos em São Mateus, Norte do Espírito Santo e realizar um estudo comparativo entre dois métodos clássicos de volumetria de precipitação: Mohr e Fajans. A metodologia envolveu a padronização de uma solução de nitrato de prata (AgNO_3) e a titulação das amostras, às quais foi adicionado um volume conhecido de padrão de NaCl para otimizar a visualização do ponto final. Os resultados indicaram que todas as amostras apresentaram concentrações de cloreto significativamente inferiores ao Valor Máximo Permitido (VMP) de 250 mg L^{-1} , atestando sua potabilidade para este parâmetro. Observou-se uma diferença consistente de 6 a 31% entre os métodos de Mohr e Fajans, sendo o primeiro com resultados ligeiramente superiores. Conclui-se, entretanto, que ambos são eficazes para a análise proposta, ressaltando-se o grande valor pedagógico do estudo comparativo para o ensino prático de química analítica.

Palavras-chave: Cloreto, água, poço artesiano, método de Mohr, método de Fajans.

Introdução

A água subterrânea, obtida através de poços artesianos, é uma fonte vital de abastecimento para muitas comunidades. A garantia de sua qualidade é, portanto, uma questão de saúde pública. O cloreto é um dos principais ânions presentes em águas naturais. Suas fontes em águas naturais podem ser a dissolução de minerais e rochas salinas, mas concentrações elevadas podem indicar contaminação por esgotos domésticos, efluentes industriais ou intrusão salina em áreas costeiras. Concentrações elevadas podem conferir sabor salgado e acelerar processos de corrosão em redes de distribuição (WHO, 2017).

No Brasil, a Portaria GM/MS nº 888/2021 estabelece um Valor Máximo Permitido (VMP) de 250 mg L^{-1} para cloreto em água potável, um padrão baseado na aceitação organoléptica (Brasil, 2021). A quantificação deste ânion pode ser realizada por métodos argentométricos clássicos, como os de Mohr e Fajans, que consiste na prática de titulações volumétricas de precipitação.

O método de Mohr, um dos mais antigos, titula íons cloreto com solução padrão de nitrato de prata, utilizando cromato de potássio como indicador; no ponto final, o excesso de Ag^+ reage com o indicador, formando cromato de prata. Já o método de Fajans emprega indicadores de adsorção, compostos orgânicos que se adsorvem da superfície do precipitado,

alterando sua cor próximo ao ponto de equivalência. Esses indicadores podem ser corantes ácidos, como fluoresceína, diclorofluoresceína e eosina, ou básicos, como a rodamina (Andrade, 2022).

Este trabalho objetiva, portanto, determinar o teor de cloreto em cinco amostras de água de poço da região norte do Espírito Santo e realizar uma análise comparativa entre os métodos de Mohr e Fajans, avaliando a sua aplicabilidade no contexto de uma disciplina de Química Analítica Experimental.

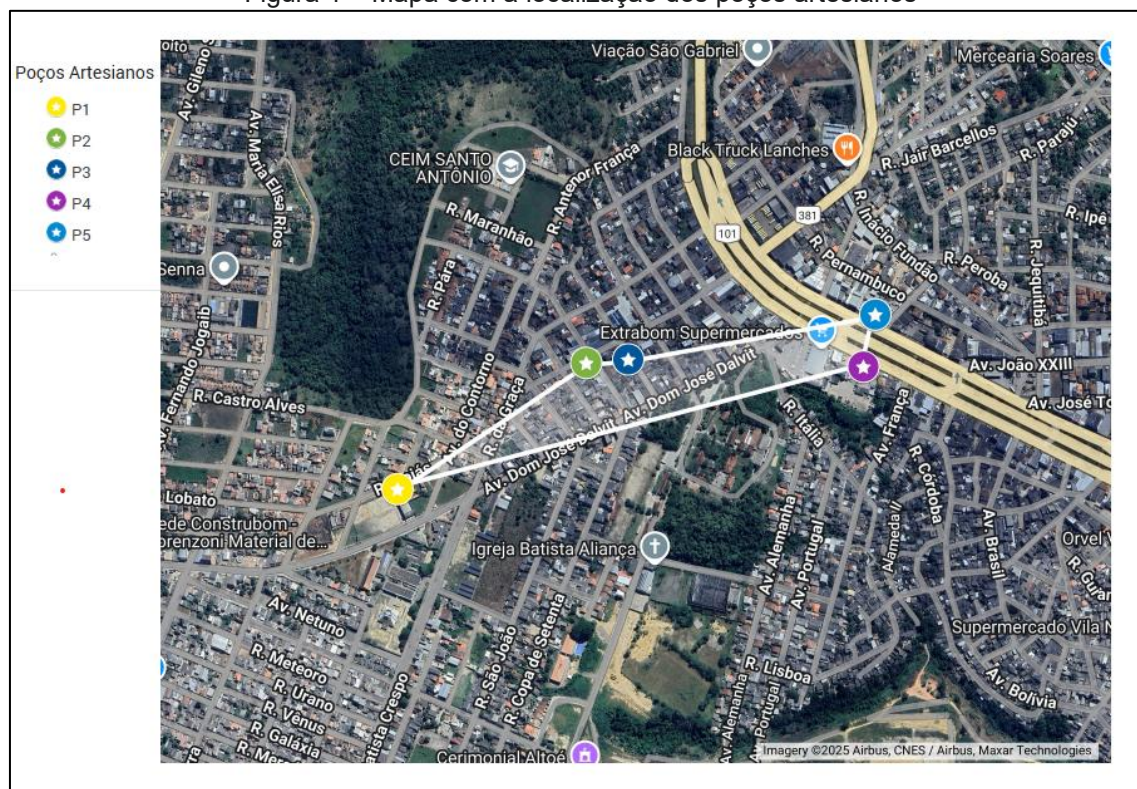
Metodologia

O estudo foi conduzido no Laboratório de Química da Universidade Federal do Espírito Santo, Campus Vitória.

Coleta de amostras de água

Foram coletadas cinco amostras de água de poços artesanais na cidade de São Mateus, Norte do Espírito Santo (P1 a P5). Os poços escolhidos neste trabalho são utilizados pela comunidade para o seu consumo doméstico e estão localizados nas regiões entre os bairros Bom Sucesso (P1), Santo Antônio (P2 e P3), Vila Nova (P4) e Posto Esso (P5), conforme mostra o mapa da Figura 1.

Figura 1 – Mapa com a localização dos poços artesanais



Fonte: Google Maps

Preparo e padronizações de soluções

Uma solução padrão primária de cloreto de sódio (NaCl P.A.) foi preparada com concentração de $0,497 \text{ mol L}^{-1}$, mediante a pesagem exata de 2,9054 g do sal, seguida de dissolução em balão volumétrico de 100 mL. Uma solução de nitrato de prata (AgNO_3) de concentração aproximada foi preparada para ser utilizada como titulante. A padronização desta solução foi realizada em triplicata, titulando-se alíquotas de 1,00 mL da solução padrão de NaCl com a solução de AgNO_3 . Este procedimento foi feito separadamente para cada método: utilizando cromato de potássio (K_2CrO_4) a 5% como indicador para o método de Mohr, e solução de diclorofluoresceína como indicador de adsorção para o método de Fajans.

Análise das Amostras

Para a análise, alíquotas de 100 mL de cada amostra foram transferidas para erlenmeyers. A cada alíquota, foi adicionado 1,00 mL da solução padrão de NaCl ($0,497 \text{ mol L}^{-1}$), uma estratégia para garantir uma concentração mínima de cloreto e, assim, facilitar a visualização nítida do ponto de viragem. As titulações foram realizadas em triplicata para cada amostra e para cada um dos dois métodos, utilizando os respectivos indicadores. A concentração efetiva de cloreto nas amostras foi determinada por meio da subtração da quantidade de cloreto presente no branco do volume obtido em cada amostra titulada. O pH de cada amostra foi determinado utilizando um pHmetro de bancada da marca Incoterm.

Resultados e Discussão

As concentrações de nitrato de prata, determinadas nas padronizações, foram de $0,04704 \text{ mol L}^{-1}$ para o método de Mohr e $0,04884 \text{ mol L}^{-1}$ para o método de Fajans. A existência de dois valores distintos para a mesma solução evidencia o erro sistemático inerentes aos dois métodos relacionados ao indicador, pH e identificação visual do ponto de viragem. Os resultados da quantificação de cloreto nas amostras de água de poço estão consolidados na Tabela 1, o cálculo da diferença sistemática entre os métodos teve o método de Mohr como referência.

Ambos os métodos, Mohr e Fajans, mostraram-se precisos para a determinação de cloretos nas amostras de água de poço. A precisão, avaliada pelo Coeficiente de Variação (CV%) das triplicatas, foi excelente, com a grande maioria dos valores permanecendo abaixo de 5%. Isso indica uma alta reprodutibilidade e confiabilidade nos volumes medidos para ambos os procedimentos.

Tabela 1 – Teores de cloreto nas amostras de água de poços artesianos pelos métodos de Mohr e Fajans

Amostra	pH	Cl ⁻ (Mohr) (mg L ⁻¹)	CV (%)	Cl ⁻ (Fajans) (mg L ⁻¹)	CV (%)	Dif. (%)
P1	4,52	20,02 ± 1,93	9,62	15,40 ± 1,71	11,11	23,05
P2	4,28	64,49 ± 0,48	0,75	59,04 ± 0,86	1,45	8,45
P3	4,04	58,93 ± 0,83	1,42	55,05 ± 1,31	2,37	6,59
P4	5,88	33,91 ± 0,00	0,00	25,67 ± 1,71	6,67	24,31
P5	6,62	20,02 ± 0,96	4,81	13,69 ± 0,00	0,00	31,60

Fonte: Dados da autora (2025).

A análise dos dados revela que todas as amostras de água dos poços possuem teores de cloreto muito inferiores ao VMP de 250 mg L⁻¹ estabelecido pela legislação brasileira, sendo, portanto, adequadas para consumo humano no que tange a este parâmetro. A amostra P2 apresentou a maior concentração (aprox. 64 mg L⁻¹), enquanto P5 apresentou a menor (aprox. 16 mg L⁻¹).

A comparação entre os métodos mostra uma excelente concordância nos resultados, com uma tendência consistente do método de Mohr em fornecer valores ligeiramente mais elevados. Essa diferença, embora pequena, é esperada e se deve aos distintos princípios de detecção do ponto final. No estudo isso implicou em resultados de 6 a 32% de diferença entre os dois métodos. O método de Mohr baseia-se na precipitação competitiva e requer um excesso de titulante para a formação do precipitado indicador (Ag₂CrO₄). Já o método de Fajans utiliza um indicador de adsorção (diclorofluoresceína) que sinaliza o ponto final pela mudança de carga na superfície do precipitado de AgCl, um fenômeno que ocorre mais próximo do ponto de equivalência estequiométrico.

O pH influencia de forma distinta os métodos avaliados. No método de Mohr, valores ácidos (pH < 6,5) reduzem a disponibilidade de cromato e aumenta o volume gasto na titulação, enquanto em meio básico (pH > 10,5) a precipitação de AgOH, também eleva o consumo de AgNO₃ (Cruz; Clain, 2010). No método de Fajans, a diclorofluoresceína atua de forma mais estável em pH próximo a neutralidade, mas em pH ≈ 4,0 sua capacidade de deslocar o íon cloreto da superfície de AgCl é limitada (Andrade, 2022). Essas condições explicam as maiores discrepâncias observadas em amostras ácidas, como P1 (23,05%), em comparação com a de pH mais elevado, como a P5 (31,60%) e evidenciam a necessidade de considerar o pH da amostra ou corrigi-lo para minimizar erros sistemáticos, como pode ser observado na Tabela 1.

Do ponto de vista didático, estes experimentos são extremamente ricos em informações e conhecimentos químicos. Ele permite aos estudantes de graduação não apenas aplicar técnicas de volumetria de precipitação, mas também investigar criticamente as fontes de erro,

como a influência do pH, que é um fator importante para ambos os métodos (Andrade, 2022), e entender que diferentes métodos analíticos podem ter vieses inerentes. A necessidade de uma adição de padrão para melhorar a análise de amostras diluídas também ilustra uma importante estratégia de desenvolvimento de métodos.

Considerações Finais

Ambos os métodos, Mohr e Fajans, mostraram-se precisos e adequados para a determinação de cloreto em amostras de água de poço, fornecendo resultados consistentes e comparáveis. As análises confirmaram que a água de todos os cinco poços estudados atende aos padrões de potabilidade para o teor de cloreto, com valores bem abaixo do limite recomendado para consumo humano. A considerável diferença sistemática observada entre os métodos reforça a importância da compreensão dos seus fundamentos teóricos para a correta interpretação dos resultados. Conclui-se que a aplicação comparativa destes métodos clássicos representa uma ferramenta de grande valor, tanto para o monitoramento ambiental quanto para o processo de ensino-aprendizagem em química analítica, promovendo o desenvolvimento do pensamento crítico e da habilidade experimental.

Agradecimentos

Ao Departamento de Química, o Centro de Ciências Exatas e a Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) pela infraestrutura disponibilizada para a realização deste trabalho.

Referências

ANDRADE, J. C. de. Química analítica básica: volumetria de precipitação. **Revista Chemkeys**, v. 4, p. 1-9, 2022.

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, 7 mai. 2021.

CRUZ, J. N.; CLAIN, A. F. A Interferência do pH na Análise de Cloreto pelo Método de Mohr. **Revista Eletrônica TECEN**, Vassouras, v. 3, n. 3, p. 29-44, jul./set., 2010.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Guidelines for drinking-water quality**. 4^a Edição, 631 p., 2017. ISBN: 978-92-4-154995-0.