

Síntese do Policloreto de Alumínio (PCA) a partir de Latas de Alumínio Recicladas

Mariana Quevedo Borges
Maria Victória da Silva Januário
Jonatha Yosef de Lima Passos

Professor orientador: Prof. Dr. Marcelo Zampieri
Professora coorientadora: Prof(a) Cristiane Moreno Martins
Marcelo.zampieri@escola.pr.gov.br

Colégio Estadual Nossa Senhora de Lourdes, Londrina- PR

Resumo

O policloreto de alumínio (PCA) é um coagulante amplamente utilizado em Estações de Tratamento de Água (ETA's) para a remoção de impurezas, sendo considerado mais eficiente que coagulantes tradicionais, como o sulfato de alumínio. Sua síntese pode ser realizada a partir da reação entre alumínio metálico e ácido clorídrico concentrado, um processo de oxirredução fortemente exotérmico que gera uma solução rica em espécies de alumínio polimerizadas. Ao ser aplicado na água, o PCA desestabiliza as cargas elétricas das partículas suspensas e promove sua aglomeração, formando flocos maiores que sedimentam por decantação e podem ser removidos por filtração. Esse mecanismo resulta em maior clarificação e redução da turbidez, garantindo água mais limpa e segura para o consumo. Entre suas vantagens destacam-se a menor produção de lodo e a atuação em ampla faixa de pH, o que contribui para a eficiência operacional das ETA's. Além disso, a utilização de resíduos metálicos, como latas de alumínio descartadas, torna sua síntese uma alternativa sustentável. Assim, este projeto tem como objetivo produzir o PCA a partir de sucata de alumínio e testar sua eficiência como coagulante em laboratório.

Palavras-chave:

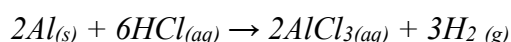
policloreto de alumínio; PCA; síntese química; tratamento de água;

INTRODUÇÃO

A crescente preocupação com a sustentabilidade e a gestão adequada de resíduos sólidos tem incentivado o desenvolvimento de alternativas para reaproveitar materiais descartados, transformando-os em produtos de utilidade ambiental e social (ODS 12). O alumínio presente em latas de bebidas representa um resíduo metálico de grande potencial, podendo ser convertido em compostos químicos úteis, como o policloreto de alumínio (PCA). Este coagulante é amplamente utilizado, desde a limpeza de piscinas até Estações de Tratamento de Água (ETA's), devido à sua eficácia na remoção de partículas em suspensão, matéria orgânica e microrganismos, sendo considerado superior a coagulantes tradicionais, como o sulfato de alumínio, por sua maior faixa de atuação de pH e menor geração de lodo.

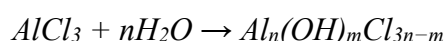
(BRAGA; HESPANHOL, 2016; DI BERNARDO, DANTAS, 2005; RICHTER, 2009). Além disso, seu uso favorece a ampliação do acesso à água de qualidade, aspecto diretamente

associado às metas globais de saneamento (ODS 6). Estudos recentes também destacam a eficiência do PCA na remoção de turbidez e cor aparente em águas residenciais (LEMOS et al., 2025). A reação principal do PCA pode ser representada pela dissolução do alumínio metálico em HCl, produzindo cloreto de alumínio e hidrogênio gasoso. Posteriormente, ocorre a hidrólise parcial dos íons Al^{3+} , resultando em espécies polinucleares de alumínio, que compõem o policloreto de alumínio (PAC) (LI; WU; ZHAO, 2016)., caracterizada como uma reação de oxirredução altamente exotérmica (BROWN et al., 2018):



Nas reações de oxirredução ocorre transferência de elétrons entre reagentes. No caso da síntese do PCA, o alumínio metálico é oxidado, passando de Al^0 para Al^{3+} , enquanto o hidrogênio do ácido clorídrico é reduzido, formando gás hidrogênio (MORTIMER; FINCH, 2015). A reação é exotérmica, liberando calor para o ambiente, o que está relacionado à variação de entalpia (ΔH) do sistema. A entalpia de reação representa a energia liberada ou absorvida durante uma transformação química; no caso do alumínio com HCl, o ΔH é negativo, indicando liberação de energia, observável pelo aumento de temperatura da solução (ATKINS; DE PAULA, 2018). Esse fenômeno fornece um exemplo prático de conceitos estudados no ensino médio, permitindo analisar energia, transferência de elétrons e calor envolvido em reações químicas.

O cloreto de alumínio formado sofre hidrólise e polimerização parcial, originando o policloreto de alumínio em uma equação de estequiometria complexa:



Assim, a utilização de alumínio reciclado não só melhora a eficiência do tratamento de água, como também reduz impactos ambientais por meio da reciclagem de resíduos e da diminuição da poluição em ecossistemas aquáticos e terrestres. Dessa forma, o presente trabalho tem como objetivo sintetizar o PCA a partir de latas de alumínio descartadas e avaliar seu desempenho como coagulante em laboratório, unindo prática experimental a conceitos de oxirredução, reações exotérmicas e entalpia de reação, dentro de um contexto que dialoga com os princípios do desenvolvimento sustentável (BRAGA; HESPANHOL, 2016; RICHTER, 2009).

ENCAMINHAMENTO METODOLÓGICO

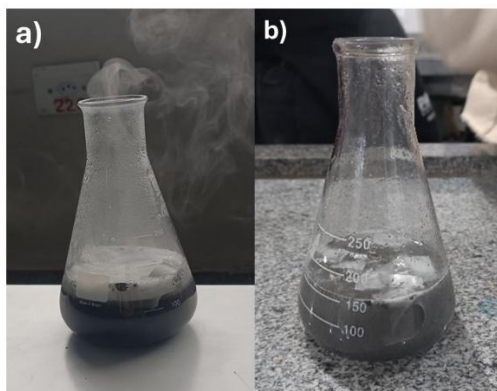
Esta seção deve apresentar de forma objetiva e clara a descrição detalhada dos materiais e métodos aplicados durante a pesquisa. A organização pode incluir subtópicos, figuras, tabelas ou quadros, conforme a necessidade. Para a síntese do policloreto de

alumínio foram utilizados ácido clorídrico comercial a 33% (marca Clorolink) e, como fonte de alumínio metálico, latas de refrigerante descartadas.

As latas foram lixadas até a completa remoção da tinta e, posteriormente, cortadas em pequenos pedaços. Esse procedimento é necessário porque a camada de tinta pode atuar como barreira à reação com o ácido clorídrico.

Em seguida, em um Erlenmeyer de 250 mL, o ácido clorídrico foi diluído em água na proporção 1:1. Essa diluição se faz necessária, pois o ácido clorídrico comercial apresenta concentração de 33%, aproximadamente $10,5 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$, considerada muito elevada para a adição direta de alumínio metálico. Após a diluição, pedaços de alumínio foram adicionados de forma controlada, a fim de evitar fervura excessiva da solução (em concentrações elevadas, a reação pode entrar em ebulição e provocar transbordamento). O alumínio foi adicionado até que não houvesse mais dissolução do metal pelo ácido, conforme ilustrado na Fig. 1.

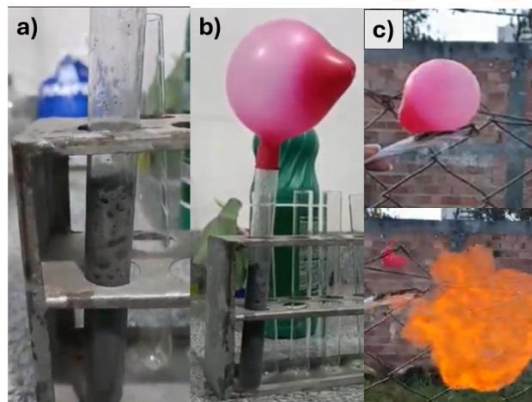
Figura 1: Reação de oxirredução do alumínio metálico em presença de HCl, (a) durante a decomposição do alumínio; (b) já em equilíbrio.



Fonte: Os autores (2025)

Paralelamente à etapa de síntese, foram realizados estudos para demonstrar os conceitos de reações exotérmicas e de oxirredução, nos quais o alumínio metálico é oxidado a Al^{3+} e o íon hidrogênio (H^+) é reduzido a gás hidrogênio (H_2). Para isso, utilizaram-se tubos de ensaio como recipientes reacionais: no primeiro, foi medida a temperatura da reação, que atingiu aproximadamente 80°C ; no segundo, realizou-se a coleta do gás hidrogênio, o qual foi posteriormente inflamado em ambiente seguro Fig. 2.

Figura 2: (a) Demonstração da liberação de calor durante a reação; (b) coleta do gás H_2 durante a reação; (c) Combustão do gás H_2 .

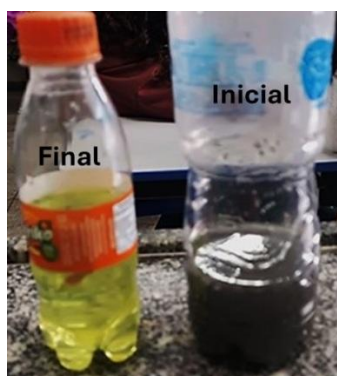


Fonte: Os altores (2025)

RESULTADOS ESPERADOS/PARCIAIS

A reação entre o alumínio metálico presente nas latas e o ácido clorídrico é acompanhada por efervescência intensa devido à liberação de hidrogênio gasoso, além de aumento da temperatura da solução, com essas observações, foi possível demonstrar na prática os conceitos de oxirredução, onde o alumínio metálico é oxidado a Al^{3+} , e os conceitos termoquímicos com a liberação de calor em um processo exotérmico intenso. Inicialmente o material coletado tem aparência turva e acinzentada (Possível presença de alumínio) Fig. 3, porém, ao final, obteve-se uma solução límpida a levemente amarelada, de pH ácido $\approx 1,0$.

Figura 3 – Policloreto de alumínio coletado logo após a síntese (inicial), e depois de 24h armazenado (final).



Fonte: Os altores (2025)

Em uma segunda etapa de trabalho os alunos foram convidados a calcular a concentração da solução obtida a partir do volume de ácido clorídrico utilizado.

Dados iniciais

- Volume de HCl inicial: **50 mL = 0,050 L**
- Concentração do HCl: **11 mol·L⁻¹ (Rótulo do Produto)**
- Volume de diluição: **50 mL de água**
- Volume final da solução de HCl: **100 mL = 0,100 L**

Moles de HCl disponíveis

$$n(\text{HCl}) = C \times V$$

$$n(\text{HCl}) = 11 \text{ mol.L}^{-1} \times 0,050 \text{ L}$$

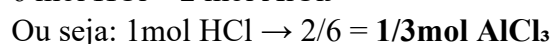
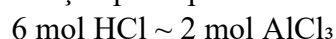
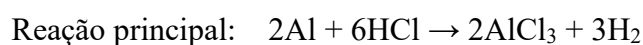
$$n(\text{HCl}) = 0,55 \text{ mol}$$

Concentração final de HCl após a diluição

$$C_f = n/V_f$$

$$C_f = 0,55 \text{ mol} / 0,100 \text{ L} = 5,5 \text{ mol.L}^{-1}$$

Relação estequiométrica com o Al



Quantidade máxima de AlCl₃ formada

$$n(\text{AlCl}_3) = 1/3 \times n(\text{HCl}) = n(\text{AlCl}_3) = 1/3 \times 0,55 \text{ mols (AlCl}_3)$$

$$n(\text{AlCl}_3) = 0,183 \text{ mol}$$

Concentração molar do PAC (como AlCl₃ equivalente)

Volume final da solução = 100 mL = 0,100 L

$$C(\text{AlCl}_3) = n/V = 0,183 \text{ mol} / 0,100 \text{ L} = 1,83 \text{ mol.L}^{-1}$$

Concentração em massa (m/m)

Massa molar do AlCl₃ = 133,33 g·mol⁻¹

$$m(\text{AlCl}_3) = n \times M$$

$$m(\text{AlCl}_3) = 0,183 \times 133,33 \approx 24,4 \text{ g}$$

Volume final = 100 mL $\approx$ 100 g de solução (considerando densidade $\sim$ 1 g/mL).

$$\%m/m = 24,4/100 \times 100\% = 24,4\%$$

Esses cálculos mostraram aos alunos que a estequiometria não é apenas uma teoria, mas sim uma ferramenta para prever, planejar e interpretar transformações químicas que eles mesmos realizaram no laboratório.

Como continuação do projeto de síntese do policloreto de alumínio (PAC) a partir de latas de alumínio recicladas, propõe-se a realização de ensaios de jar-test. Essa técnica permitirá avaliar a eficiência do coagulante produzido na remoção de turbidez de uma água-teste preparada em laboratório.

O procedimento consiste em preparar amostras de água com turbidez conhecida, aplicar diferentes doses de PAC, realizar agitação rápida seguida de agitação lenta, e observar a formação e sedimentação dos flocos. Após o período de decantação, mede-se a turbidez e o pH das amostras, comparando os resultados entre as diferentes doses e com

um controle sem coagulante. Como esse trabalho requer equipamentos específicos para a determinação da qualidade do coagulante sintetizado, estuda-se a possibilidade de realização dos mesmos junto ao departamento de hidráulica da UTFPR – Londrina.

CONSIDERAÇÕES FINAIS/CONCLUSÕES

A síntese do policloreto de alumínio (PAC) a partir de latas de alumínio recicladas e ácido clorídrico comercial mostrou-se uma atividade de grande valor didático e socioambiental.

Os alunos puderam acompanhar reações químicas reais, envolvendo conceitos de oxirredução, estequiometria, hidrólise e controle de pH, ao mesmo tempo em que refletiram sobre a importância da química na sociedade.

O produto obtido apresentou características compatíveis com as de um coagulante, reforçando a ideia de que resíduos sólidos podem ser transformados em materiais úteis, em consonância com os ODS 6 e 12, relacionados ao tratamento de água e ao reuso de recursos. A proposta também evidenciou a relevância do conhecimento científico aliado à sustentabilidade, aproximando o ensino da realidade dos estudantes.

REFERÊNCIAS

Livros

ATKINS, Peter; DE PAULA, Julio. *Química física*. 11. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2018.

BRAGA, Benedito; HESPANHOL, Ivanildo. *Poluição e qualidade da água*. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2016.

BROWN, Theodore L.; LEMAY, H. Eugene; BURSTEN, Bruce E.; MURPHY, Catherine; WOODWARD, Patrick. *Química: a ciência central*. 14. ed. Rio de Janeiro: Pearson, 2018.

DI BERNARDO, Luiz; DANTAS, Ângela Di Bernardo. *Métodos e técnicas de tratamento de água*. 2. ed. São Carlos: Rima, 2005.

MORTIMER, Colin E.; FINCH, Colin A. *Química geral experimental*. 3. ed. São Paulo: Blucher, 2015.

RICHTER, Claudio Augusto. *Tratamento de água: princípios e aplicações*. São Paulo: Blucher, 2009.

Artigo de revista

LEMOES, Karita Santos; AGUIAR FILHO, Silvio Quintino de; CAVALLINI, Grasielle Soares. **Avaliação comparativa entre os coagulantes sulfato de alumínio ferroso e policloreto de alumínio para tratamento de água: estudo de viabilidade econômica.** *Revista Desafios*, v. 7, n. 1, p. 20-29, 2025. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/340927453_AVALIACAO_COMPARATIVA_ENTRE_OS_COAGULANTES_SULFATO_DE_ALUMINIO_FERROSO_E_POLICLORETO_DE_ALUMINIO_PARA_TRATAMENTO_DE_AGUA_ESTUDO_DE_VIABILIDADE_ECONOMICA. Acesso em: 25 ago. 2025.

LI, Guangyu; WU, Zhihua; ZHAO, Jinsheng. **Preparation and performance of polyaluminum chloride (PAC) coagulant from waste aluminum foil.** *Desalination and Water Treatment*, v. 57, n. 17, p. 8007-8014, 2016.