



**IX Encontro de Iniciação Científica e Tecnológica
IX EnICT
ISSN: 2526-6772
IFSP – Campus Araraquara
6 de dezembro de 2025**



De resíduo à nova perspectiva na economia circular: conversão de MnO_2 em $KMnO_4$ a partir de pilhas de zinco-carbono usadas

GABRIEL MELITTO SANTOS¹, ANA CLARA DOS REIS DAMASCENO², LAURA CRISTINA PRADO DA SILVA³, JOÃO HENRIQUE SASKA ROMERO⁴

^{1,2,3} Técnico em Química, IFSP-Campus Matão, bielmelitto123@gmail.com

⁴ Doutor em Química, IFSP-Campus Matão, joaohsromero@ifsp.edu.br

Área de conhecimento (Tabela CNPq): Química – 1.06.00.00-0

RESUMO: O Brasil descarta 20.000 toneladas de pilhas/baterias, em média, por ano. Menos de 5% é reciclado, de acordo com a Associação Brasileira da Indústria de Pilhas e Baterias. A humanidade atingiu, em 24 de julho de 2025, o dia da sobrecarga da Terra e com a finitude de alguns recursos oferecidos pelo planeta, torna-se importante propor caminhos, que transformem “o lixo/descarte” num produto que promova a economia circular. Assim, o objetivo deste trabalho é propor uma rota química para a recuperação de dióxido de manganês (MnO_2) em permanganato de potássio ($KMnO_4$) a partir de pilhas Zn-C descartadas. Para a parte experimental baseou-se em um artigo já publicado, que utilizou duas etapas para a transformação do MnO_2 em $KMnO_4$, porém, o presente trabalho propôs um caminho alternativo que utiliza menor quantidade de reagentes possibilitando uma rota mais sustentável. Dados da curva de calibração e leitura das absorbâncias de todas as amostras indicaram que o caminho alternativo foi mais promissor na quantificação de Mn(VII) quando comparado ao estudo anterior. Portanto, os resultados corroboram com pilares da química sustentável: a reutilização e eficiência atômica, para a transformação do MnO_2 , em um produto mais rentável e com várias perspectivas na área da química, o $KMnO_4$.

PALAVRAS-CHAVE: projeto integrador; química; permanganato de potássio; rotas alternativas.

INTRODUÇÃO

Com os avanços tecnológicos, a demanda pelo uso de pilhas tem crescido significativamente, porém as pilhas Zn-C têm um ciclo de vida relativamente curto gerando um grande volume de resíduos, o que agrava a problemática e logística de como descartá-la corretamente, já que em sua composição se encontram metais tóxicos como chumbo, mercúrio e cádmio. Esses metais causam problemas ambientais e podem ser letais para a saúde se não tiverem o destino adequado. Uma das formas de reutilizar as pilhas que seriam descartadas é extrair o manganês, presente em pilhas alcalinas e zinco-carbono. Esse manganês presente na pasta eletrolítica como dióxido de manganês (MnO_2) pode ser convertido em permanganato de potássio ($KMnO_4$), que possui diversas aplicações nas áreas da química.

O objetivo desse trabalho consiste em reaproveitar o dióxido de manganês (MnO_2) presente na pasta eletrolítica de pilhas Zn-C descartadas e transformá-lo em um produto de valor agregado para a indústria química, o permanganato de potássio ($KMnO_4$). Este último é um excelente agente oxidante, amplamente utilizado na decomposição de matéria orgânica e em diversas aplicações na química analítica. Os métodos experimentais aplicados foram baseados no artigo de Rodrigues, A. M. (2020), que tratou a pasta eletrolítica em duas etapas, convertendo MnO_2 em $KMnO_4$ com a utilização de soluções ácidas ou de sais contendo

carbonato. Esse trabalho, propôs um caminho alternativo em que não é preciso adicionar reagentes químicos para a oxidação e transformação do Mn(IV) proveniente do MnO₂ para o Mn(VII) presente no KMnO₄.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Metodologias e reações envolvendo a transformação de KMnO₄ para MnO₂ ou vice-versa é um assunto amplo na Química. Pode-se destacar entre os principais estudos e possibilidades de aplicação, as áreas de eletroquímica/fotocatálise (SIROTKIN, N., 2025) e obtenção de nanopartículas (FITRIANNISA, I., 2025).

Entretanto, a temática reciclagem de pilhas alcalinas, pilhas zinco-carbonos e baterias que contém MnO₂ é um assunto mais escasso de trabalhos/propostas. No Google Acadêmico utilizando as palavras chaves “obtenção de KMnO₄ a partir de pilhas” ou “reciclagem de pilhas com pasta de MnO₂” poucos trabalhos foram encontrados pela plataforma.

O primeiro deles, artigo de autoria de Rodrigues, A. M. (2020) e artigo central da pesquisa desse trabalho com relação a metodologia empregada, discuti o reaproveitamento da pasta eletrolítica de MnO₂ para a obtenção de KMnO₄ a partir de pilhas alcalinas e pilhas zinco-carbono descartadas pelo tratamento da pasta em meio alcalino e após com a adição de soluções ácidas (ácido sulfúrico) ou de bicarbonato de sódio. Os pesquisadores também quantificam Mn(VII) nas soluções obtidas.

O segundo trabalho, autoria de Colzani, H. et al. 2017, propõe quantificar manganês por meio de imagens digitais adquiridas com um scanner. Os autores fazem a digestão da pasta por outra metodologia utilizando ácido nítrico concentrado, assim, oxidando o Mn(IV) para Mn(VII). A curva de calibração envolve titulação de oxirredução com o ácido oxálico e, finalmente, a obtenção de imagens digitais utilizando o scanner/software para a quantificação do manganês.

O terceiro trabalho, autoria de Paulino, J. F. et al. 2007, difere dos dois trabalhos anteriores porque propõem a recuperação de manganês por meio de pilhas Li (lítio)/MnO₂. A pasta eletrolítica é tratada com ácido sulfúrico e peróxido de hidrogênio. O manganês é recuperado como sulfato e não como permanganato.

Assim, buscando preencher lacunas, esse trabalho propõe obter KMnO₄ e quantificar Mn(VII) a partir da pasta eletrolítica de MnO₂ de pilhas zinco-carbono descartadas.

METODOLOGIA

Cuidadosamente abriu-se uma pilha de zinco-carbono Rayovac® para a retirada e pesagem de sua pasta, registrando 8,48 g. Para a extração de maior concentração de manganês, pesou-se 20,03 g da pasta eletrolítica, que foi armazenada em um recipiente de plástico, assim outras pilhas foram abertas para a medição dessa massa. Essa etapa foi realizada com os equipamentos de proteção individual adequados para esse processo. Preparou-se 100 mL de uma solução 8 mol·L⁻¹ de KOH (hidróxido de potássio). A mistura (solução e pasta) foi mantida em um agitador magnético por 31,5 h para uma maior homogeneização da pasta eletrolítica na solução de KOH. Após esse tempo de agitação, a mistura foi filtrada à pressão reduzida e o resíduo líquido foi descartado, enquanto a parte sólida foi deixada por 1 h no dessecador e após isso, levada à estufa (modelo Marq Labor, MAQEES81) a 100°C por 24 h. As etapas estão na Figura 1.

Dessa forma, para posterior obtenção do íon permanganato foram originados dois caminhos sendo, o primeiro sem o tratamento prévio da pasta eletrolítica e o segundo com tratamento da pasta eletrolítica, conforme Figura 1.

FIGURA 1. Fluxograma com as etapas experimentais para o tratamento da pasta eletrolítica da pilha Zn-C descartada.



Fonte: autoria própria.

OBTENÇÃO DE ÍON MnO_4^- SEM OU COM TRATAMENTO DA PASTA ELETROLÍTICA

PARTE 1- FUSÃO DA PASTA ELETROLÍTICA COM KOH

Foram preparados dois tipos de amostras contendo a pasta eletrolítica com o intuito de obter soluções do íon permanganato (MnO_4^-) e foram nomeados de Amostra A e Amostra B. As amostras foram feitas usando a pasta eletrolítica retirada diretamente da pilha (não tratada). No bêquer A foram colocados 1,0 g dessa pasta de fonte de MnO_2 não tratada juntamente com 1,6 g de hidróxido de potássio (KOH) e no bêquer B foram colocados 1,0 g de pasta eletrolítica não tratada juntamente com 2,0 g de nitrato de sódio ($NaNO_3$) e 1,6 g hidróxido de potássio (KOH).

As misturas contidas em cada um dos bêqueres foram trituradas, transferidas para os respectivos cadinhos de porcelana e posteriormente levados à mufla (GP Científica 2000), onde foram submetidos a um tratamento térmico de 850°C durante 6 h. Retiradas as amostras da mufla, esperou-se até o material esfriar e, em seguida, o solubilizou em água suficiente, obtendo-se 100 mL de solução para cada uma das amostras (Figura 2).

Outras duas amostras (Amostra C e Amostra D) foram realizadas, respectivamente, conforme as amostras A e B, porém a diferença consiste que as amostras C e D foram obtidas pela pasta eletrolítica tratada conforme descrito na Figura 1 (as amostras A e B a pasta não foi tratada previamente).

Depois disso, é necessário oxidar os manganatos obtidos (MnO_4^{2-}). Para a oxidação, buscou-se duas alternativas, a primeira, com solução de bicarbonato de sódio e a segunda, com solução fortemente ácida, processos realizados para as amostras com pastas não tratadas (Amostras A e B) e para as amostras com a pasta tratada (amostras C e D).

PARTE 2 - OXIDAÇÃO DO MnO_4^{2-} A MnO_4^- POR SOLUÇÃO DE $NaHCO_3$

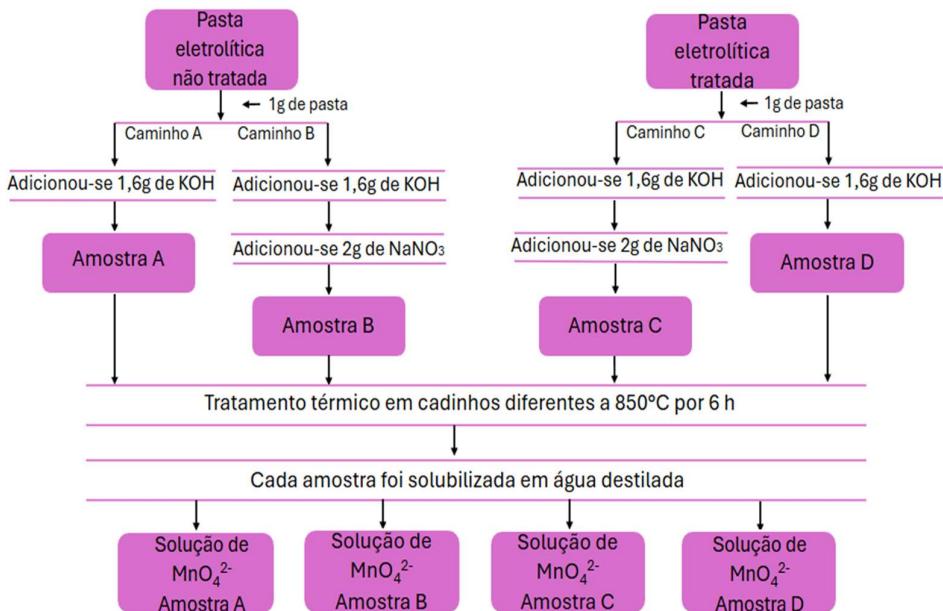
Foram transferidos 2 mL das soluções A, B, C e D em diferentes tubos de ensaio e foi adicionado em cada tubo 1,5 mL de solução 0,9 mol·L⁻¹ de bicarbonato de sódio ($NaHCO_3$). Todas as amostras obtiveram mudanças significativas, com uma cor rosada e passaram a ser denominados A₁, B₁, C₁ e D₁ (Figura 3, denominado de caminho 2).

PARTE 3- OXIDAÇÃO DO MnO_4^{2-} A MnO_4^- POR SOLUÇÃO DE H_2SO_4 CONCENTRADO

Foram transferidos 2 mL das soluções A, B, C e D em diferentes tubos de ensaio e foi adicionado em cada tubo uma gota de solução 6 mol·L⁻¹ de ácido sulfúrico (H_2SO_4). Todas as amostras obtiveram mudanças

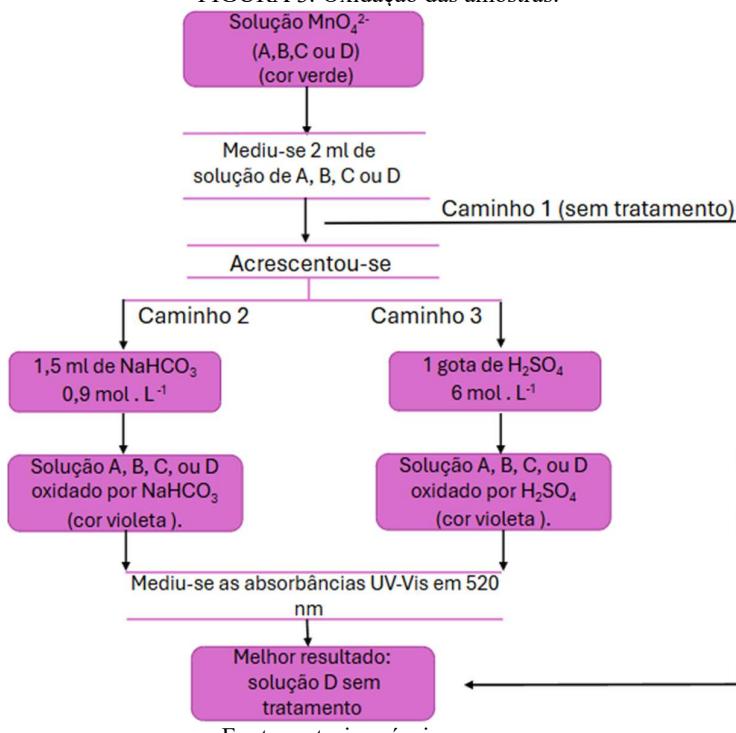
significativas, com uma cor rosada e passaram a ser denominados A₂, B₂, C₂ e D₂ (Figura 3, denominado de caminho 2).

FIGURA 2. Obtenção das amostras A e B (pasta não tratada) e amostras C e D (pasta eletrolítica tratada previamente).



Fonte: autoria própria.

FIGURA 3. Oxidação das amostras.



Fonte: autoria própria.

Até aqui, o trabalho reproduziu as etapas descritas no artigo base. Como contribuição desse projeto integrador foi testado um caminho alternativo para a oxidação das amostras. Nesse caso, após a obtenção da pasta tratada, esta última foi mantida em dessecador por 7 dias sem acréscimo de reagente (solução de bicarbonato ou ácido sulfúrico) para investigar a possível oxidação ao utilizar o ar (atmosfera oxidante) do Mn(VI) por Mn(VII). A seguir, estão os resultados para comparar as amostras com acréscimo de reagente e utilizando apenas o ar como agente oxidante.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para obter o KMnO_4 a partir de MnO_2 baseou-se nos estudos de Rodrigues, A. M. (2020) e realizou-se duas etapas, descritas a seguir. A primeira etapa (Etapa 1) consiste na pulverização da pasta (MnO_2) e fusão com hidróxido de potássio (KOH) com tratamento térmico em alta temperatura, conforme Equação 1.

Equação 1. Fusão da pasta eletrolítica com KOH (tratamento térmico $T = 850^\circ\text{C}$ por 6h):

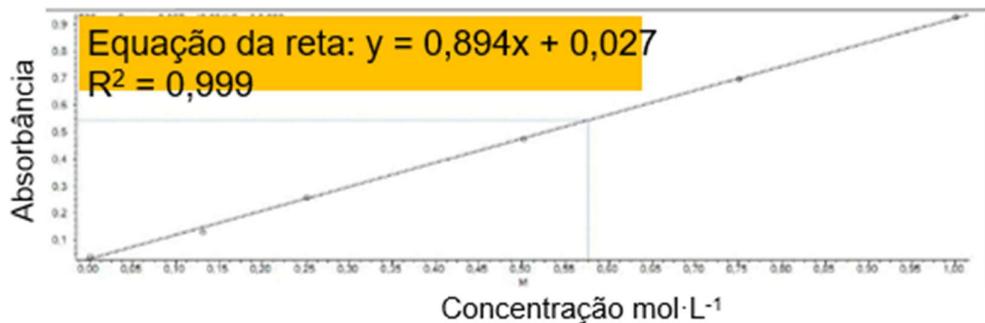


A segunda etapa (Etapa 2) envolve a oxidação do Mn^{6+} para Mn^{7+} ($\text{K}_2\text{MnO}_4 \rightarrow \text{KMnO}_4$). Após retirar da mufla e resfriamento, as amostras são solubilizadas e apresentam cor verde, nesse caso, característico do estado de oxidação Mn(VI). E, ao serem tratadas com bicarbonato de sódio (NaHCO_3) ou ácido sulfúrico (H_2SO_4), alteraram para coloração púrpura, cor característica do estado de oxidação do Mn(VII).

A contribuição desse trabalho consiste num caminho alternativo para a Etapa 2, que foi denominado de Etapa 3. Na Etapa 3, a oxidação do Mn^{6+} para Mn^{7+} ($\text{K}_2\text{MnO}_4 \rightarrow \text{KMnO}_4$) ocorre sem a adição de (NaHCO_3) ou ácido sulfúrico (H_2SO_4). Após retirar da mufla e resfriamento das amostras, estas foram armazenadas em dessecador em atmosfera estática de ar (ambiente oxidante) por 1 semana e só então, solubilizadas e, apresentaram cor púrpura, indicando a oxidação do Mn(VI) para Mn(VII) sem a necessidade de outros reagentes químicos.

Num espectrofotômetro UV-VIS (Thermo Scientific, modelo Evolution 201), construiu-se uma curva de calibração para o KMnO_4 em cinco diferentes concentrações: 5×10^{-5} , 1×10^{-4} , 2×10^{-4} , 3×10^{-4} e 4×10^{-4} $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ medindo a absorbância em 520 nm (Figura 4).

FIGURA 4. Curva de calibração para KMnO_4 .



Fonte: autoria própria.

Utilizando a lei de Lambert-Beer calculou-se a concentração molar das amostras. Os resultados da Etapa 3 (com tratamento térmico da pasta, mas com oxidação do Mn(VI) para Mn(VII) sem acréscimo de H_2SO_4 ou NaHCO_3) são melhores quando comparados aos da Etapa 2, conforme Tabela 1.

Com relação ao KMnO_4 obtido a partir da Etapa 3, por meio de cálculos estequiométricos, obteve-se que o rendimento da reação foi de 50%, valor consideravelmente aceitável já que há perdas nos processos de tratamento da pasta, transferência de frascos, filtração, entre outros. Para fins de estimativa de grau de pureza,

colocou-se no forno tipo mufla três cadinhos contendo 1,000 g do KMnO₄ obtido, assim o processo foi realizado em triplicata. A pureza (média dos valores) foi de 68 %.

TABELA 1. Concentração mmol·L⁻¹ das amostras da Etapa 2 e Etapa 3*.

*oxidação do Mn pela atmosfera estática de ar.

	Etapa 2 Com adição de H₂SO₄	Etapa 2 Com adição de NaHCO₃	Etapa 3 Sem adição de outros reagentes
Amostra A	0,29	0,21	0,44
Amostra B	0,22	0,14	0,17
Amostra C	0,13	0,05	0,51
Amostra D	0,16	0,16	0,59

Fonte: autoria própria.

CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou um processo alternativo para a obtenção de permanganato de potássio (KMnO₄) a partir do dióxido de manganês (MnO₂) presente na pasta eletrolítica de pilhas Zn-C descartadas. Através do tratamento térmico das amostras, foi possível converter o MnO₂ em manganato de potássio (K₂MnO₄), o qual, por meio de oxidação, foi convertido em KMnO₄, um composto com alto valor agregado na indústria química.

Os resultados obtidos indicam que a oxidação do Mn(IV) para Mn(VII) foi bem-sucedida em ambas as etapas de oxidação realizadas (usando soluções de bicarbonato de sódio e ácido sulfúrico), mas a Etapa 3, que utilizou apenas a atmosfera oxidante do ar, mostrou-se mais eficaz, com um rendimento de 50% e uma pureza média de 68%. Este resultado é particularmente relevante, pois a utilização do ar como agente oxidante elimina a necessidade de reagentes químicos adicionais, tornando o processo mais sustentável e com menor impacto ambiental.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a profa. Dra. Andréia Aparecida Cecílio pela coorientação do trabalho. Agradecemos às estudantes Beatriz Tabolka do Amaral e Giovana Mendonça pela colaboração na metodologia, análise dos resultados e pela coautoria do trabalho.

REFERÊNCIAS

- COLZANI, H.; SCOLARO, A. M. T.; GELINSKI, J. M. L. Neves; BORGES, E. M. Determinação de manganês em pilhas utilizando um scanner. **Revista Virtual de Química**, São João del-Rei, v. 9, n. 4, p. 1672-1685, 2007.
- PAULINO, J. F.; BUSNARDO, N. G.; AFONSO, J. C. Processamento de pilhas Li/MnO₂ usadas. **Química Nova**, São Paulo, v. 30, n. 3, p. 657-663, jun. 2007.
- FITRIANNISA, I et al. Unveiling the Antibacterial Efficacy and Mechanistic Insights of MnO₂ Nanoparticles for Advanced Therapeutic Applications. **International journal of molecular sciences**, v. 26, n. 18, p. 9104, 2025.
- RODRIGUES, A. M.; RODRIGUES, J. S. M. Obtenção de permanganato a partir do dióxido de manganês presente em pilhas zinco-carbono e alcalinas usadas. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**, v. 9, p. 143-155, 2020.
- SIROTKIN, N. et al. Plasma chemical synthesis and modification of MnO₂ as potential photocatalyst. **Environmental Science and Pollution Research**, p. 1-9, 2025.