



## **Reaproveitamento do zinco de pilhas alcalinas: inovação sustentável na formulação de protetor solar**

CAIO DE CARLO TEIXEIRA, ERIK VINICIUS PEREIRA DA SILVA<sup>2</sup>, GABRIEL HENRIQUE REGIS<sup>3</sup>,  
JOÃO HENRIQUE SASKA ROMERO<sup>4</sup>

<sup>1,2,3</sup> Técnico em Química, IFSP- Campus Matão, [caiodecarlo15@gmail.com](mailto:caiodecarlo15@gmail.com)

<sup>4</sup> Doutor em Química, IFSP – Campus Matão, [joahsromero@ifsp.edu.br](mailto:joahsromero@ifsp.edu.br)

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

**RESUMO:** Reutilizar o zinco (Zn) de pilhas alcalinas para a produção de óxido de zinco (ZnO) e empregá-lo na formulação de protetor solar é uma prática sustentável, inovadora e inédita, contribuindo com menor geração de resíduos tóxicos para o meio ambiente. O objetivo desse trabalho consiste em recuperar Zn a partir das pilhas alcalinas, e transformar em ZnO. Este último foi caracterizado por difração de raios X e espectroscopia vibracional de absorção na região do infravermelho. Dentro dos limites da detecção dessas técnicas, o difratograma e espectro mostraram que ZnO foi obtido sem a formação de fases espúrias. A formulação do protetor solar consiste em duas partes, a inorgânica, composta pelo ZnO, responsável pela absorção e reflexão dos raios UVB/UVA e, a fase orgânica, composta por reagentes sustentáveis como óleos de coco, jojoba, aloe vera, cera de carnaúba e manteiga de karité que são os veículos da formulação, mas também contribuem com a proteção dos raios UVA. Combinando as contrapartes inorgânica e orgânica obteve-se, em potencial, um protetor solar promissor por toda a faixa UVA/UVB do espectro eletromagnético. Assim, a reutilização do zinco não só reduz resíduos, mas também agrega valor, oferecendo uma alternativa sustentável para a indústria química e cosmética.

**PALAVRAS-CHAVE:** projeto integrador; química; óxido de zinco; inovação; protetor solar.

## **INTRODUÇÃO**

As pilhas alcalinas são empregadas em diversos dispositivos eletrônicos portáteis, sendo compostas por diferentes materiais que, quando descartados de forma inadequada, representam sérios riscos ao meio ambiente. Um dos componentes dessas pilhas é o zinco (Zn), um metal que pode ser recuperado e reutilizado em diferentes aplicações, contribuindo para a redução do impacto ambiental e para a promoção da economia circular. Optou-se em transformar o Zn recuperado das pilhas em óxido de zinco (ZnO) para a posterior emprego em protetor solar. Dessa forma, o presente trabalho se insere em uma pesquisa e proposta educacional que alia teoria e prática, promovendo o desenvolvimento de competências teórico-práticas e profissionalizantes em estudantes do curso Técnico em Química Integrado ao Ensino Médio.

O objetivo geral é reduzir o volume de resíduos de pilhas alcalinas transformando, por meio de reações químicas, placas de zinco (Zn) em óxido de zinco (ZnO), e ainda, inserir o ZnO obtido em formulação de protetor solar com matéria-prima renovável de baixo custo, desenvolvendo-se assim, um produto sustentável. São objetivos específicos, as caracterizações estruturais do ZnO e a eficiência de absorção de raios ultravioleta do protetor solar desenvolvido. Além disso, o trabalho abrange alguns objetivos do desenvolvimento sustentável, entre eles, o objetivo 9 (indústria, inovação e infraestrutura), objetivo 11 (cidades e comunidades sustentáveis), objetivo 12 (consumo e produção sustentáveis) e objetivo 13 (combate às alterações climáticas).

## FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O óxido de zinco (ZnO) é empregado como pigmento, em células solares, dispositivos eletrônicos com destaque ao emprego em diodos emissores de luz (LED) e em cosméticos e produtos dermatológicos. Com relação ao último emprego, o ZnO junto ao dióxido de titânio (TiO<sub>2</sub>) são largamente utilizados como filtros inorgânicos na composição e formulação de protetor solar (SMIJS, T. G.; PAVEL, S., 2011). Esses óxidos possuem baixo potencial de irritação na pele e diferem dos filtros orgânicos no processo de espalhamento da luz ultravioleta (UV) (FLOR, J.; DAVOLOS, M. R.; CORREA, M. A., 2007).

Um efeito indesejável ao utilizar protetor solar com filtro inorgânico e conhecido por seus consumidores é o efeito branco que fica sob a camada externa da pele. Esse efeito está relacionado ao tamanho da partícula do ZnO e TiO<sub>2</sub> e do espalhamento da luz UV. Diante disso, pesquisadores propuseram ajustes na síntese desses óxidos.

Vários trabalhos citam o contorno desse problema com a obtenção de nanopartículas, por exemplo, ALBUQUERQUE, A. K. C., (2018) estudou a obtenção de ZnO e o TiO<sub>2</sub> por duas rotas de síntese: o método sol-gel proteico e reação de combustão. Já, ASSIS, G. L., (2024) investigou as propriedades semicondutoras de materiais nanoestruturados constituídos de nanobastões de óxido de zinco e nanopartículas de titânia amorfa.

SARMENTO, M. S., (2023) fez uma revisão bibliográfica sobre o uso de nanopartículas na composição de protetores solares e se essa tecnologia é segura e concluiu que esses nanossistemas apresentam proteção adequada aos raios UV, porém os trabalhos ainda são insuficientes quanto a regulação e aplicação dessa tecnologia em protetores solares. É um ponto de atenção que essas pesquisas utilizam reagentes de pureza analítica e o enfoque é buscar trabalhos que utilizem o Zn de pilhas alcalinas descartadas.

Uma busca na plataforma Google Acadêmico, com as palavras chaves “ZnO a partir de Zn de pilhas” foram encontradas algumas propostas como reciclagem do Zn de pilhas alcalinas para a produção de catalisadores (RIBAS, M. C., 2019 e VIANA, G. C. C. et al., 2022) e proposta de material para tratamento de efluentes (NETO, A. V., 2015 CAHINO, A. M. et al., 2024). Uma busca mais assertiva utilizando como palavras chaves “pilhas alcalinas e protetor solar” ou “ZnO obtido a partir de pilhas para formulação de protetor solar” não encontrou nenhum trabalho.

Dessa forma, a presente pesquisa traz uma proposta inédita, que não está relacionada ao uso de ZnO na formulação de cosméticos e protetores solares, mas sim, o reuso de Zn de pilhas alcalinas descartadas para esse fim. Soma-se a esse ineditismo apontar uma solução que abranja duas situações problemas: o grande volume de pilhas descartadas no Brasil e o aumento do número de casos de câncer de pele, assim, busca-se reciclar pilhas alcalinas no desenvolvimento de um protetor solar de baixo custo.

## METODOLOGIA

### Obtenção do ZnO

Com os equipamentos de proteção individual e outros cuidados necessários, abriu-se pilhas alcalinas descartadas e separou-se os invólucros de zinco, conforme Figura 1.

FIGURA 1. Partes da pilha alcalina.

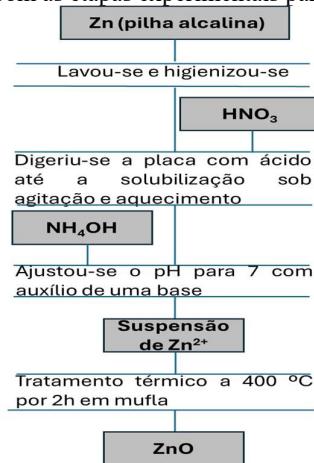


Fonte: autoria própria.

Lavou-se as placas de Zn com água e detergente. Após secagem das placas, na capela de exaustão, em um bêquer, adicionou-se as placas, 100 mL de água destilada e 15 mL ácido nítrico concentrado (HNO<sub>3</sub>) até a

solubilização total. Ajustou-se o pH da solução para aproximadamente 7,2 com a adição, gota a gota, de hidróxido de amônio concentrado (NH<sub>4</sub>OH). A solução incolor tornou-se turva e branca formando uma suspensão de Zn<sup>2+</sup>. A suspensão foi filtrada num sistema de pressão reduzida. Após, a suspensão foi colocada num forno tipo mufla (GP Científica 2000) para tratamento térmico a 400 °C por 2h, obtendo-se o ZnO que foi triturado num almofariz e pistilo e guardado em recipiente adequado e caracterizado. O fluxograma com as etapas experimentais estão na Figura 2.

FIGURA 2. Fluxograma com as etapas experimentais para a transformação de Zn em ZnO.



Fonte: autoria própria.

#### Obtenção da formulação do protetor solar

O protetor solar é composto por duas fases, a inorgânica composta por ZnO e a fase orgânica composta por óleo de coco, óleo de jojoba, cera de carnaúba, óleo de aloe vera e manteiga de karité. Num bêquer mediu-se a massa de 2 g de ZnO. Em outro bêquer, mediu-se 10 g de óleo de coco, 2 g de óleo de jojoba, 10 g de cera de carnaúba, 2 g de aloe vera e 10 g de manteiga de karité. A mistura foi colocada num agitador magnético sob aquecimento (90 °C) até a fusão completa de todos os reagentes. Após, transferiu-se 2 g de ZnO na formulação e agitou-se até a homogeneização do sistema. O protetor solar obtido foi reservado em recipiente adequado e caracterizado.

#### Caracterizações

**Difração de raios X (DRX)** – ZnO foi caracterizado por difração de raios X em um difratômetro Rigaku RINT 2000 com anodo de cobre rotatório utilizando radiação K1 do cobre (1,5418 Å, 40 kV, 70 mA). O difratograma foi obtido com velocidade de varredura de 0,03°/2s, no intervalo 2θ de 4° a 70°.

**Espectroscopia Vibracional na região do Infravermelho com transformada de Fourier (FTIR)** – ZnO foi caracterizado utilizando um espectrômetro Thermo Nicolet IS5, com transformada de Fourier. O ZnO foi disperso em KBr e submetido a uma pressão de 10 kbar, aproximadamente, em prensa uniaxial para a formação de uma pastilha transparente. O espectro foi analisado de 400 a 4000 cm<sup>-1</sup>.

**Espectroscopia de Reflectância Difusa (DRS)** - O espectro de reflectância difusa do protetor solar obtido foi realizado em um espectrofotômetro Cary UV-VIS-NIR 500, equipado com acessório que permite a obtenção de espectros de amostras sólidas. Como padrão de reflectância difusa foi utilizado óxido de magnésio MgO. A região analisada foi de 210-800 nm. O espectro de reflectância difusa foi transformado em espectro de absorção utilizando o método de Kubelka-Munk.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A placa de Zn (Figura 3) é digerida em solução ácida formando o íon metálico  $Zn^{2+}$  e liberação de gás hidrogênio, conforme a equação 1.

**Equação 1:** Digestão do Zn metálico (reação de simples troca e oxirredução).

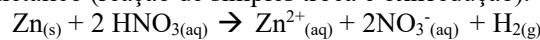
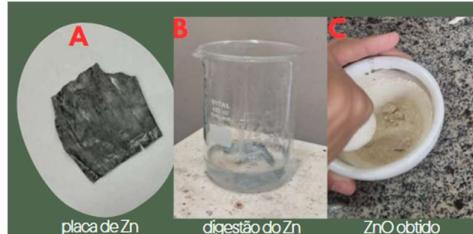


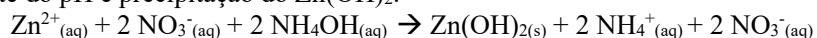
FIGURA 3.



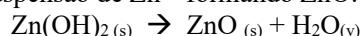
Fonte: Autoria própria.

Com o ajuste do pH, com o acréscimo de hidróxido de amônio ( $NH_4OH$ ), ocorre a formação de hidróxido de zinco ( $Zn(OH)_2$ ), conforme a equação 2. A suspensão é filtrada, e o  $Zn(OH)_2$  recebe tratamento térmico em forno mufla gerando o  $ZnO$ , ver equação 3.

**Equação 2:** Ajuste do pH e precipitação do  $Zn(OH)_2$ .

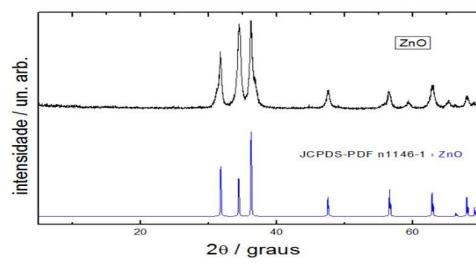


**Equação 3:** Tratamento térmico de suspensão de  $Zn^{2+}$  formando  $ZnO$ .



Com relação a caracterização estrutural do  $ZnO$ , na Figura 4 está o difratograma de raios X e na Figura 5 o espectro FT-IR.

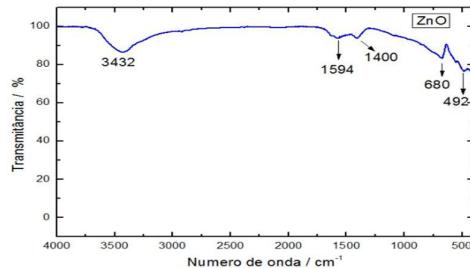
FIGURA 4. Difratograma de raios X da amostra de  $ZnO$  com tratamento térmico a 400°C.



Fonte: Autoria própria.

Ao comparar o difratograma da amostra com a pilha JCPDS-PDF referente ao  $ZnO$  pode se afirmar que a fase pura foi obtida e não há reflexão dos planos atribuídos a as fases espúrias.

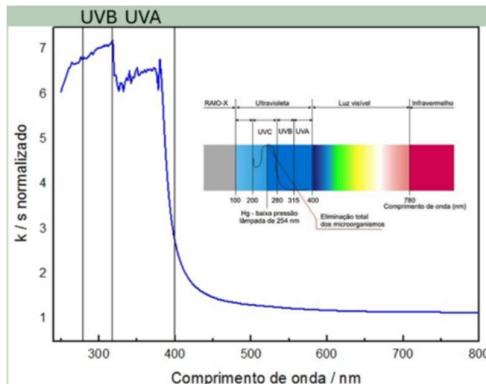
FIGURA 5. Difratograma de raios X da amostra de ZnO com tratamento térmico a 400°C.



Fonte: Autoria própria.

As bandas observadas em 492 cm<sup>-1</sup>, 680 cm<sup>-1</sup>, são atribuídas aos estiramentos da ligação Zn-O. As bandas em 1594 cm<sup>-1</sup> e 2432 cm<sup>-1</sup> estão relacionadas a deformação e estiramento, respectivamente, para a ligação O-H. Uma banda atribuída em 1400 cm<sup>-1</sup> pode ser relacionada ao estiramento da ligação de grupos nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), porém não foram observadas fases relacionadas a Zn(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> no perfil de difração, técnica de longo alcance. Na Figura 6 está o espectro de absorção na região UV-VIS para o protetor solar desenvolvido com as contrapartes inorgânicas e orgânicas.

FIGURA 6. Espectro de absorção na região UV-VIS do protetor solar calculado a partir do espectro de DRS pelo método de Kubelka-Munk.



Fonte: Autoria própria.

O espectro de reflectância difusa foi transformado em espectro de absorção por meio do método de Kubelka-Munk. Loyalka (1995), demonstra que por meio desse método, a relação entre os coeficientes de absorção e espalhamento, em cada comprimento de onda, é dada pela função remissão:

**Equação 4:** Função remissão (método Kubelka-Munk):

$$f(R_{\infty}) = \frac{(1-R_{\infty})^2}{4R_{\infty}} = \frac{k}{s}.$$

Nesse caso, R<sub>∞</sub> é a razão entre a reflectância da amostra e a reflectância do padrão, k é o coeficiente de absorção molar da amostra e s é o coeficiente de espalhamento. A partir da medida de reflectância difusa, o coeficiente de absorção pode ser obtido utilizando a função remissão definida pela equação 4.

Observa-se absorção da radiação UVA (compreendida entre 320-400 nm) e UVB (compreendida entre 290-320 nm). Com isso, o protetor solar desenvolvido combina as contrapartes buscando proteger por toda faixa energética UVA-UVB do espectro eletromagnético.

## CONCLUSÕES

A recuperação de Zn a partir de pilhas alcalinas descartadas engloba os objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS). Por meio de reações químicas foi possível transformar Zn em ZnO. As caracterizações estruturais indicaram a formação do produto sem fases espúrias. A formulação do protetor solar mais o filtro inorgânico, ZnO, mostrou absorção de raios UV na faixa UVA/UVB. A proposta desse trabalho é inédita para a indústria química e cosmética. São perspectivas do trabalho o estudo de nanopartículas para homogeneização dos tamanhos de partícula e o cálculo do fator de proteção solar (FPS).

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos a profa. Dra. Andréia Aparecida Cecílio pela coorientação do trabalho. Agradecemos aos estudantes Diego Felipe das Taboas e Gustavo Lourenço Xavier pela colaboração na metodologia, análise dos resultados e pela coautoria do trabalho.

## REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, A. K. C. **Síntese de nanoestruturas de ZnO e TiO<sub>2</sub> via método sol-gel proteico e reação de combustão para aplicação em fotoproteção**. 2018. 53 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Graduação em Engenharia de Materiais. Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa.
- DE ASSIS, G. L. **Nanobastões de ZnO revestidos com titânia amorfa e sílica para proteção contra raios UV**. 2024. 108p. Tese de Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Química. Instituto de Química, Universidade de São Paulo. São Paulo.
- CAHINO, A. M. et al. **Resíduos sem purificação utilizados como matéria-prima para síntese de produtos destinados ao tratamento de efluentes**. 2024. 113 p. Tese de Doutorado – Programa de Engenharia Civil e Ambiental. Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa.
- FLOR, J.; DAVOLOS, M. R.; CORREA, M. A. Protetores solares. **Química nova**, v. 30, p. 153-158, 2007.
- LOYALKA, S. K.; RIGGS, C. A. Inverse problem in diffuse reflectance spectroscopy: accuracy of the Kubelka-Munk equations, **Applied Spectroscopy**, v. 49, p. 1107 1110, 1995.
- NETO, A. V. **Utilização de resíduos de pilhas na degradação oxidativa e redutiva de poluentes orgânicos em solução aquosa**. 2015. 102 p. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação de Química. Instituto de Ciências Exatas – Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte.
- RIBAS, M. C. et al. Reciclagem de pilhas e recuperação de zinco para a produção de catalisadores. In: **2º Congresso Sul-americano de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade**, 2., 2019. Foz do Iguaçu. *Anais...* Foz do Iguaçu: Parque Tecnológico de Itaipu, 2019. Disponível em: <<https://www.ibeas.org.br/conresol/conresol2019/XII-040.pdf>>. Acesso em: 07 novembro de 2025.
- SARMENTO, M. S. **Revisão narrativa: os protetores solares contendo nanotecnologia são seguros?**. 2023. 39 p. Trabalho de Conclusão de Curso – Graduação em Farmácia. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal.
- SMIJS, T. G.; PAVEL, S. Titanium dioxide and zinc oxide nanoparticles in sunscreens: focus on their safety and effectiveness. **Nanotechnology, science and applications**, p. 95-112, 2011.
- VIANA, G. C. C. et al. **Produção, caracterização e aplicação de photocatalisadores heterogêneos a partir de pilhas alcalinas pós consumo**. 2022. 101 p. Dissertação de Mestrado – Programa de Engenharia Civil e Ambiental. Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa.