

Análise Química de Alumínio em Sombras Cosméticas: Um Metal Potencialmente Tóxico

Chemical Analysis of Aluminum in Cosmetic Eyeshadows: A Potentially Toxic Metal

Nathália L. de Oliveira,^a  Emily A. S. Cunha,^a Bruna G. da Silva,^a Luís Antônio da Silva,^a 
Valéria A. Alves^{a,*} 

^aUniversidade Federal do Triângulo Mineiro, Unidade Univerdecidade, Instituto de Ciências Exatas, Naturais e Educação, Departamento de Química, Laboratório de Eletroquímica e Eletroanalítica, CEP 38064-200, Uberaba-MG, Brasil

*E-mail: valeria.alves@ufm.edu.br

Submissão: 14 de Abril de 2025

Aceite: 22 de Junho de 2025

Publicado online: 3 de Julho de 2025

Some studies indicate that aluminum (Al) is a toxic element to the human body, and that prolonged exposure to high levels of Al may be associated with the development of Alzheimer's disease. Cosmetic eyeshadows are among the most widely used personal care products. The use of low-cost eyeshadow palettes may pose long-term health risks to consumers due to their high concentrations of potentially toxic elements. Since these products are applied to the eye area, they may present particular risks to human health. Therefore, the aim of this study was to identify and quantify aluminum in low-cost eyeshadows of different brands and colors, manufactured in China and sold in Uberaba, Minas Gerais, Brazil. The presence of Al may result from its intentional inclusion or from raw materials used in production, such as natural minerals. Qualitative analytical techniques and a quantitative spectrophotometric method were employed. Aluminum was detected in all tested samples, with concentrations ranging from 11458 to 238795 mg kg⁻¹. This work contributes to the development of analytical methodologies for detecting and quantifying aluminum in personal care products, emphasizing the need for monitoring substances used in items that are part of everyday life.

Keywords: Aluminum; cosmetic eyeshadows; spectrophotometry.

1. Introdução

Os cosméticos são largamente aplicados nos cuidados diários com o corpo, desde os primórdios da civilização. O uso de cosméticos pelos egípcios data de 4.000 a.C.¹ Produtos de higiene pessoal, perfumes e cosméticos (HPPC), para a região dos olhos destacam a sua beleza, consistindo de três categorias: delineador, rímel e sombra. Estes produtos cosméticos contêm vários tipos de corantes (orgânicos, inorgânicos, perolados, etc.) em sua composição química.² As sombras cosméticas podem causar irritação na pele e reações alérgicas, devido aos corantes e demais substâncias que fazem parte da sua composição química, os quais podem conter elementos potencialmente tóxicos (EPT), prejudiciais à saúde humana.^{3,4} Os teores de EPT nos produtos cosméticos dependem do tipo e da fonte das matérias-primas empregadas, do processamento, do armazenamento e do transporte.³

O crescimento da indústria cosmética é intenso, com destaque para os cosméticos coloridos. EPT normalmente são adicionados aos corantes minerais naturais ou sintéticos, com o intuito de aumentar o brilho e a diversidade de cores. Embora a regulamentação de quase 70 países estabeleça sobre os níveis permitidos de EPT em cosméticos, como As, Cd, Hg e Pb, produtos com concentrações extremamente altas de EPT são livremente comercializados.⁵

A aplicação de cosméticos coloridos nas pálpebras, nos cílios e nas sobrancelhas possibilita a penetração de substâncias através da pele fina e sensível até o sistema linfático, ou diretamente no olho, como resultado do ato de piscar, esfregar os olhos, ou quando o produto é aplicado na forma de *spray*. Embora a pele possua uma barreira protetora, o uso frequente e prolongado de cosméticos aumenta a taxa de penetração de substâncias tóxicas, o que pode resultar em sua bioacumulação e causar distúrbios crônicos de saúde.^{1-3,5-7} A pele próxima à região dos olhos é muito fina, facilitando que tais substâncias alcancem a corrente sanguínea.⁴ Muitos elementos tóxicos e seus compostos são solúveis em água, e a própria umidade da pele pode promover a sua absorção.⁸

No Brasil, a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) é responsável pela autorização da comercialização de produtos de HPPC, mediante a concessão de registro, e tem a prerrogativa de garantir produtos seguros e de qualidade para o consumidor. A ANVISA também fiscaliza e estabelece padrões de produção para os fabricantes.⁶ As empresas fabricantes

de cosméticos não são obrigadas a informar sobre a possível presença de EPT nos rótulos das embalagens, então os consumidores não têm como saber do risco a que estão expostos, mesmo que os níveis de concentração de EPT sejam baixos.⁹

Há evidências que a legislação brasileira deveria estabelecer limites seguros da quantidade de EPT nos produtos cosméticos, bem como ampliar a fiscalização com relação ao controle de qualidade dos produtos fabricados no país, bem como daqueles que são comercializados, independente do país de fabricação. Os EPT estão presentes na composição química de cosméticos, seja por causa da sua adição intencional (compõem a fórmula) ou por contaminação oriunda das matérias-primas usadas na sua produção.^{2,10} EPT ao nível de traço têm sido encontrados em diferentes produtos cosméticos para melhorar a sua qualidade.⁷

Os corantes declarados pelos fabricantes nas sombras cosméticas são aqueles estabelecidos na lista de corantes permitidos no Brasil em produtos de HPPC, pela ANVISA, contida na RDC nº 628, de 10 de março de 2022,¹¹ onde as impurezas máximas de metais permitidas nos corantes orgânicos artificiais são: bário solúvel em ácido clorídrico 0,001 N (expresso como cloreto de bário): 500 mg kg⁻¹; arsênico (expresso como As₂O₃): 3 mg kg⁻¹; chumbo (expresso como Pb): 20 mg kg⁻¹; e outros metais pesados: 100 mg kg⁻¹.

As sombras cosméticas são registradas na ANVISA como “Cosméticos Grau I”, por se tratarem de produtos cuja formulação é caracterizada por apresentar propriedades básicas ou elementares, ou seja, não há necessidade de informações detalhadas sobre o modo de uso ou restrições, pois considera-se que o produto apresenta risco mínimo para a saúde humana.⁶

No Brasil, não existe legislação específica que estabelece o limite máximo de elementos essenciais e não essenciais em produtos de HPPC, especialmente cosméticos. Contudo, tomando-se como parâmetro a regulamentação brasileira disponível para alimentos, suplementos alimentares e águas naturais, o teor de alguns EPT (Al, Ba, Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Sb, V e Zn) em sombras cosméticas mostraram-se acima do limite permitido, sugerindo que o uso destes produtos pode colocar em risco a saúde da população.¹⁰

Os rótulos das sombras cosméticas descrevem apenas a sua composição química, e não mencionam as quantidades dos componentes da mistura.¹⁰ Segundo Almeida e colaboradores¹² a falta de limitação da quantidade de corante presente nos produtos cosméticos se deve ao fato de considerar-se que os mesmos não são absorvidos pelo organismo.

A exposição humana ao alumínio é praticamente inevitável, este elemento é abundante na natureza, representando cerca de 8% da crosta terrestre em diversas formas iônicas, sendo que o íon Al³⁺ apresenta a maior toxicidade.^{10,13} O alumínio não apresenta função biológica conhecida no organismo humano, e a ingestão de

produtos que o contém não é prejudicial ao mesmo, sendo considerados seguros para indivíduos saudáveis, desde que sejam ingeridos nas doses recomendadas. No entanto, alguns efeitos adversos têm sido observados em alguns casos, após o uso prolongado.^{2,13} Alguns estudos apontam que pessoas expostas a altos níveis de alumínio podem desenvolver a doença de Alzheimer. Pessoas com doença renal armazenam uma grande quantidade de Al no organismo, porque menos alumínio é excretado pela urina. Esses indivíduos podem desenvolver doenças ósseas ou neurológicas, as quais os médicos acreditam que podem estar relacionadas ao excesso de alumínio, pois este impede a absorção de fosfato, uma substância química essencial para ossos saudáveis.^{2,13} O Al é altamente reativo em termos biológicos e, embora os seus efeitos na saúde humana ainda não estejam totalmente esclarecidos, a absorção deste elemento pode resultar em efeitos neurotóxicos, além da sua capacidade de produzir estresse oxidativo e alterar as funções mitocondriais.¹⁰

Nanopartículas de óxido de alumínio (NPs de Al₂O₃) têm sido amplamente utilizadas na fabricação de vacinas, suplementos alimentares, produtos de higiene pessoal e cosméticos, incluindo sombras cosméticas. No entanto, elas também têm efeitos adversos em diferentes órgãos, incluindo fígado, rins e testículos.¹⁴ Deve-se ter cautela quanto à exposição humana ao alumínio, o qual é considerado um EPT.¹⁰

A identificação de elementos essenciais e/ou potencialmente tóxicos, bem como a determinação do seu teor, utilizando-se metodologias e técnicas analíticas eficientes, consiste numa ferramenta relevante e necessária para melhor gerenciamento da produção de cosméticos, especialmente aqueles aplicados na região dos olhos, que podem apresentar toxicidade à saúde humana.^{1,4,15}

O presente trabalho tem como objetivo utilizar métodos analíticos disponíveis na literatura para identificar e quantificar alumínio em amostras de sombras cosméticas de baixo custo, comercializadas em lojas físicas localizadas na cidade de Uberaba (MG-Brasil), e comparar com os valores disponíveis na literatura, uma vez que a legislação vigente, divulgada na Biblioteca de Cosméticos da ANVISA,¹⁶ não proíbe o uso de alumínio ou de seus compostos neste produto.

2. Experimental

2.1. Materiais e instrumentos

Purificador de água (Gehaka, modelo *Master System/MS2000*); balança analítica (BEL *Engineering*, modelo *210A*); centrífuga (Hindustan Thermostatics, modelo *81C*); chapa de aquecimento e agitação (Tecnal, modelo *TE-0851*); micropipetas monocal de volume variável (100 a 1000 µL, 1000 a 5000 µL da Pegasus® e 1000 a 10000 µL da Kasvi); espectrofotômetro (PerkinElmer®, modelo *Lambda 35*) e cubetas de quartzo (1,0 cm de caminho óptico).

2.2. Reagentes e soluções

Ácido nítrico (HNO₃ 65%, 63,01 g mol⁻¹); ácido clorídrico (HCl 37%, 36,46 g mol⁻¹); água oxigenada (H₂O₂ 9%, 34,01 g mol⁻¹); alizarina S (C₁₄H₇NaO₇S 0,1%, 342,26 g mol⁻¹); hidróxido de sódio (NaOH 97%, 39,997 g mol⁻¹); hidróxido de amônio (NH₄OH 28-30%, 35,05 g mol⁻¹); cloreto de amônio (NH₄Cl 53,49 g mol⁻¹); 8-hidroxiquinolina (C₉H₇NO 145,16 g mol⁻¹); cloreto de alumínio(III) hexahidratado (AlCl₃·6H₂O 241,43 g mol⁻¹); clorofórmio (CHCl₃, P.A. A.C.S.); álcool etílico absoluto P.A. mín. 99,5% e papel indicador de pH (0 a 14, Merck).

As seguintes soluções foram empregadas nas análises qualitativas para identificação de Al³⁺ nas amostras: NH₃ 6 mol L⁻¹, NH₄Cl 2 mol L⁻¹, NaOH 4 mol L⁻¹, HCl 6 mol L⁻¹ e solução aquosa de alizarina S 0,1%. Para realizar a quantificação de Al³⁺ nas amostras foram preparadas uma solução estoque 1000 ppm de Al³⁺ e uma solução de 8-hidroxiquinolina 0,5% (m/v) em clorofórmio. Todas as soluções aquosas foram preparadas com água ultrapura. Os procedimentos de preparação destas soluções estão descritos na Informação Suplementar.

As soluções utilizadas para as reações químicas

envolvidas na separação dos cátions e identificação do Al³⁺ nas amostras foram acondicionadas em frascos plástico conta-gotas de 100 mL, devidamente rotulados, exceto aquelas que precisaram ser recém-preparadas ou que foram utilizadas como disponibilizadas nos frascos originais.

2.3. Composição química das sombras cosméticas

Foram analisadas 10 sombras cosméticas, de cores variadas, pertencentes a quatro marcas diferentes, de baixo custo, fabricadas na China, e adquiridas em lojas da cidade de Uberaba-MG (Tabela 1). O critério de seleção das cores das sombras cosméticas analisadas baseou-se no estudo publicado por Almeida e colaboradores,¹² que identificaram altos teores de alumínio em sombras nas cores laranja, marrom e roxa, utilizando metodologia analítica espectrofotométrica. Neste trabalho, as cores azul e dourada com *glitter* foram incluídas para ampliar a diversidade da amostragem. Os números 1 e 2 após o código das amostras (A-E), referem-se a duas sombras cosméticas de cores diferentes, de uma mesma paleta. A Figura S1 apresenta as sombras cosméticas analisadas, já pulverizadas, e os respectivos códigos utilizados para as amostras analisadas.

Tabela 1. Composição declarada nos rótulos das sombras cosméticas analisadas (CI – *Color Index*)

Códigos - Cores	Composição Química	Lotes
A1-Laranja Neon A2-Azul B1-Laranja B2-Roxa	Talco, Mica, Caulim, Sílica, Estearato de Magnésio, Parafina Líquida, Palmitato de Etilexila, Trimetilato de Tridecila, Polietileno, Fenoxietanol, Caprililglicol, Copolímero de Estireno/Isopreno Hidrogenado. Poderá conter: CI 15850, CI 16035, CI 19140, CI 42090, CI 45410, CI 77007, CI 77288, CI 77742, CI 77891	JS-03201201 Fabricação: - Validade: JAN/2026
C1-Laranja avermelhado C2-Laranja claro (palha)	Mica, Talco, Dimeticona, Palmitato de Etilexila, Estearato de Magnésio, Metilparabeno, Propilparabeno, BHA (2,3-terc-butil-4-hidroxianisol). Poderá conter: CI 16035, CI 42090, CI 77007, CI 77289, CI 77491, CI 77492, CI 77499, CI 77742	200880902 Fabricação: - Validade: NOV/2025
D1-Azul cintilante	Mica, Talco, Parafina Líquida, Dimeticona, Estearato de Magnésio, Caulim, Palmitato de Etilexila, Metilparabeno, Propilparabeno. Poderá conter: CI 16035:1, CI 19140:1, CI 42090:2, CI 77007, CI 77289, CI 77491, CI 77492, CI 77499, CI 77742	JS-12200801 Fabricação: - Validade: NOV/2025
D2-Marrom	Talco, Mica, Dimeticona, Palmitato de Etilexila, Estearato de Magnésio, Metilparabeno, Propilparabeno, BHA (2,3-terc-butil-4-hidroxianisol). Poderá conter: CI 16035, CI 42090, CI 77007, CI 77289, CI 77491, CI 77492, CI 77499, CI 77742	
E1-Laranja E2-Dourada (com <i>glitter</i>)	Sombras: Mica, Talco, Caulim, Sílica, Estearato de Magnésio, Parafina Líquida, Palmitato de Etilexila, Trimetilato de Tridecila, Polietileno, Fenoxietanol, Caprililglicol, Copolímero de Estireno/Isopreno Hidrogenado. Poderá conter: CI 15850, CI 16035, CI 19140, CI 42090, CI 45410, CI 75470, CI 77007, CI 77491, CI 77492, CI 77499, CI 77742, CI 77891 Glitter: Tereftalato de Polietileno, Parafina Líquida, Copolímero de Estireno/Isopreno Hidrogenado, Poliisobuteno, Fenoxietanol, Caprililglicol. Poderá conter: CI 15850, CI 19140, CI 77000, CI 77742	201809257 Fabricação: AGO/2021 Validade: AGO/2026

Nomenclatura Internacional de Ingredientes Cosméticos (INCI, *International Nomenclature of Cosmetic Ingredients*):^{10,11} **Corantes Orgânicos** - Vermelho: CI 15850, CI 16035, CI 16035:1; Amarelo: CI 19140; Amarelo Limão (Tartrazina ou Yellow N°5): CI 19140:1; Azul: CI 42090; Azul Brilhante: CI 42090:2; Vermelho (Floxina B): CI 45410; **Corantes Naturais** - Vermelho (Carmim de Cochonilha): CI 75470; **Pigmentos Inorgânicos** - Branco (Pó de Alumínio): CI 77000; Azul: CI 77007; Verde (Óxido de Crômio, sem Cr(VI)): CI 77288; Verde (Óxido de Crômio e Ferro, sem Cr(VI)): CI 77289; Amarelo, Vermelho, Preto (Mistura de Óxidos de Ferro): CI 77491, CI 77492, CI 77499; Violeta (Difosfato de Amônio de Manganês): CI 77742; Branco (TiO₂): CI 77891.

2.4. Metodologias analíticas

2.4.1. Preparo das amostras

As sombras cosméticas foram pulverizadas em almofariz com pistilo e os pós obtidos transferidos para tubos Falcon rotulados (Figura S1) e armazenadas em dessecador. A sombra cosmética E2 (dourada com *glitter*) é cremosa. A digestão foi realizada pesando-se 0,1 g de cada sombra cosmética em cadinho de porcelana, em triplicata (no caso das análises quantitativas). Em seguida foram adicionados HCl (5 mL) e HNO₃ (2,5 mL), concentrados, e H₂O₂ (1 mL, 9%).^{12,17-19} Após adição dos reagentes, o cadinho foi colocado sobre uma chapa de aquecimento e a mistura reacional fervida por 30 minutos, para digestão da amostra. Durante a digestão, usou-se pequenas porções de água ultrapura para lavar a amostra e evitar que o meio reacional secasse. Permaneceu um resíduo branco não solubilizado da amostra,^{12,17-19} relacionado a compostos de Si (como o SiO₂) e TiO₂, que não são mineralizados.⁴ O conteúdo do cadinho foi deixado esfriar e em seguida manipulado conforme descrito nos procedimentos para identificação qualitativa e quantificação de Al³⁺ nas sombras cosméticas.

2.4.2. Procedimento para identificação qualitativa de Al³⁺ nas sombras cosméticas

Foi utilizado o esquema de separação de cátions do Grupo III (marcha analítica clássica) para identificação de alumínio nas sombras cosméticas.²⁰ Nem todas as etapas do referido esquema foram necessariamente seguidas, dependendo da composição química da amostra, que foi investigada durante o seu processo de preparo e posterior manipulação (observação das características físicas, como cor da solução do meio reacional, e do comportamento na presença de base, por exemplo).

No tubo Falcon contendo a amostra solubilizada (sobrenadante do tratamento de preparação, separado do resíduo por centrifugação), adicionou-se NH₃ 6 mol L⁻¹, gota a gota e com agitação, para formar o tampão amoniacal pH ~9 (NH₄OH/NH₄Cl), testado com papel indicador, pois o meio reacional continha ácido clorídrico, oriundo da preparação da amostra, responsável por esta acidez. Observou-se a formação de um precipitado gelatinoso. Adicionou-se duas gotas de NH₃ 6 mol L⁻¹ em excesso.

Em seguida, a mistura reacional foi mantida em banho-maria durante 1 minuto e centrifugada por 2 minutos para separação e descarte do sobrenadante (o que foi feito rapidamente), enquanto o precipitado foi utilizado para a identificação de Al³⁺.

Nesta etapa, no caso da presença de íons Fe³⁺ na amostra ocorreu a formação de hidróxido de ferro, Fe(OH)₃, um precipitado de aspecto gelatinoso e de cor marrom-avermelhada. Aparentemente, outros elementos do Grupo III não estavam presentes nas soluções das amostras, pelo aspecto observado de cor do precipitado obtido na presença de solução de amônia, ou da cor do sobrenadante. Como o analito é o alumínio, focou-se na identificação deste elemento.

O precipitado foi lavado duas vezes, utilizando-se 40 gotas de cloreto de amônio, NH₄Cl 2 mol L⁻¹, com centrifugação de 2 minutos após cada lavagem. Em seguida adicionou-se 60 gotas de NaOH 4 mol L⁻¹ e 20 gotas de H₂O₂ 9% à mistura reacional, a qual foi aquecida em banho-maria durante 5 minutos e centrifugada por 2 minutos. O sobrenadante foi separado e utilizado para identificar a presença de Al³⁺.

2.4.2.1. Ensaios para identificação do Al³⁺ na amostra

Foram adicionadas gotas de HCl 6 mol L⁻¹ ao sobrenadante, até meio ácido (pH ~1). Em seguida, foram adicionadas gotas de NH₃ 6 mol L⁻¹ ao meio reacional, até meio alcalino (pH ~9). O pH foi testado com papel indicador. O sistema reacional foi aquecido em banho-maria por 5 minutos e centrifugado por 2 minutos. A formação de um precipitado branco gelatinoso, Al(OH)₃, indicou a presença de Al³⁺ na amostra. O Al(OH)₃ é um precipitado finamente dividido, e quando suspenso em solução a sua presença não é fácil de detectar.

Por isso, a formação do Al(OH)₃ no meio reacional também foi confirmada com a adição de algumas gotas de uma solução aquosa de alizarina S 0,1%. A alizarina S é um pó amarelo-alaranjado, solúvel em água e álcool e sua solução amoniacal reage com alumínio formando um precipitado roxo-avermelhado. Esta reação é influenciada pelos sulfetos, Sn⁴⁺, nitrato e íons coloridos.²¹ Ensaios em branco também foram realizados, para evitar um resultado falso positivo.

2.4.3. Quantificação de Al³⁺ nas amostras por espectrofotometria de absorção molecular no UV-VIS

A metodologia analítica instrumental utilizada para determinação de Al³⁺ nas sombras cosméticas por espectrofotometria de absorção molecular no UV-VIS foi baseada em procedimento disponível na literatura.^{12,22} Utilizou-se a técnica de extração líquido-líquido por fase única, onde íons metálicos são extraídos com agentes complexantes, empregando o processo de formação de uma única fase líquida homogênea denominada mistura ternária, que tem o intuito de aumentar a absorbância do analito.^{12,22} As misturas ternárias são formadas por uma fase aquosa que contém o íon metálico de interesse (neste trabalho as soluções padrão de Al³⁺, em cinco concentrações diferentes, Tabela 2), um líquido orgânico imiscível em água que contém o agente complexante^{12,22} (neste trabalho a solução de 8-hidroxiquinolina 0,5% (m/v) em clorofórmio) e um terceiro líquido orgânico miscível em ambos (no caso o etanol).²²

Na Tabela 2 são apresentados os volumes da solução estoque 1000 ppm de Al³⁺ utilizados para preparar as soluções padrão de Al³⁺. Os volumes necessários da solução padrão foram pipetados com micropipeta monocal de volume variável (100 a 1000 µL), transferidos para balões volumétricos de 25 mL e os volumes foram completados com água ultrapura.

Tabela 2. Volumes da solução estoque 1000 ppm de Al³⁺ para preparação das soluções padrão de Al³⁺

VOLUME DA SOLUÇÃO ESTOQUE 1000 ppm de Al ³⁺ (μL)	C _{Al³⁺} DA SOLUÇÃO PADRÃO / ppm
120	4,80
250	10,00
370	14,80
500	20,00
620	24,80

Para o preparo das misturas ternárias utilizou-se cinco tubos Falcon de 50 mL, nos quais adicionou-se: 1000 μL da solução padrão de Al³⁺ (4,80; 10,00; 14,80; 20,00; e 24,80 ppm) em cada tubo (pipetado com micropipeta monocanal de volume variável, de 100 a 1000 μL); 10,00 mL de etanol, em cada tubo (pipetado com micropipeta monocanal de volume variável, de 1000 a 10000 μL) e 5,00 mL de uma solução de 8-hidroxiquinolina em clorofórmio 0,5% (m/v) em cada tubo (pipetado com micropipeta monocanal de volume variável, de 1000 a 5000 μL). As concentrações de Al³⁺ obtidas foram de 0,30; 0,62; 0,92; 1,25 e 1,55 ppm, respectivamente, pois ocorreu uma diluição de 16 vezes na concentração das soluções padrão de Al³⁺. A mistura ternária contendo 0 ppm de Al³⁺ foi preparada misturando-se 1000 μL de água ultrapura + 10,00 mL de etanol + 5,00 mL da solução de 8-hidroxiquinolina em clorofórmio 0,5% (m/v). Foram realizadas três replicatas em cada nível de concentração.

As soluções das amostras de sombras cosméticas foram preparadas em triplicata, onde foram utilizadas três amostras diferentes da mesma paleta (embalagem). Este procedimento está descrito na Informação Suplementar. As misturas ternárias das amostras de sombras cosméticas, solução da amostra + etanol + solução de 8-hidroxiquinolina 0,5% (m/v) em clorofórmio, foram preparadas mantendo-se os seguintes volumes dos constituintes: 1000 μL da solução da amostra + 10,00 mL de etanol + 5,00 mL da solução de 8-hidroxiquinolina 0,5% (m/v) em clorofórmio.

A absorvância das misturas ternárias foi medida em 400 nm. O pH do meio reacional foi mantido em 6, a temperatura do laboratório foi mantida em 23 °C e o tempo de reação foi de 10 minutos.^{12,22} Os espectros de absorção das misturas ternárias também foram registrados, na faixa de comprimento de onda de 380 a 600 nm, em cubeta de quartzo de 1,0 cm de caminho ótico. Utilizou-se como branco uma mistura ternária composta por 1000 μL de água ultrapura + 10,00 mL de etanol + 5,00 mL de clorofórmio.

Em cada medida onde o valor de absorvância da mistura ternária da amostra de sombra cosmética ficou muito alto (fora da curva de calibração), diluiu-se a amostra, e então preparou-se nova mistura ternária, até que o valor de absorvância ficasse satisfatório (dentro da curva de calibração). Para o cálculo da concentração final de alumínio na amostra, levou-se em consideração o fator de diluição da amostra.

2.4.4. Validação do método analítico espectrofotométrico: limites de detecção (LD) e de quantificação (LQ), exatidão e efeito de matriz

Os limites de detecção e quantificação foram calculados a partir do desvio padrão do intercepto com o eixo y (σ) e da inclinação da curva de calibração (IC), equações (1) e (2):²³

$$LD = \frac{3,3\sigma}{IC} \quad (1)$$

$$LQ = \frac{10\sigma}{IC} \quad (2)$$

O desvio padrão do intercepto com o eixo y foi calculado pelas equações (3) e (4):^{24,25}

$$S_{y/x} = \sqrt{\frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{n-2}} \quad (3)$$

$$\sigma = S_{y/x} \sqrt{\frac{\sum x_i^2}{n \sum (x_i - \bar{x})^2}} \quad (4)$$

onde: $S_{y/x}$: desvio padrão residual; y_i : valor individual de sinal instrumental (resposta); \hat{y}_i : valor de resposta predita pela equação da curva de calibração; n : número de medições; x_i : valor individual de concentração; e \bar{x} : média do valor de concentração.

A exatidão do método analítico foi determinada por meio da realização do teste de adição de analito conhecido (íon Al³⁺) em amostras de sombras cosméticas, e sua recuperação, para duas amostras de sombras cosméticas representativas, em três níveis diferentes de concentrações finais nas misturas ternárias, dentro da faixa de linearidade do método analítico, 0,30; 0,92 e 1,55 ppm, sendo três réplicas em cada nível, num total de nove determinações.²³ As concentrações experimentais de Al³⁺ em cada nível foram obtidas por meio da curva de calibração obtida pelo método dos padrões externos. Os valores de recuperação, expressos em porcentagem, foram calculados por meio da equação (5):²³

$$Recuperação = \frac{\left(\frac{\text{Concentração da amostra adicionada}}{\text{amostra adicionada}} \right) - \left(\frac{\text{Concentração da amostra sem adição de analito}}{\text{amostra adicionada}} \right)}{\left(\frac{\text{Concentração teórica do analito adicionado}}{\text{amostra adicionada}} \right)} \times 100 \quad (5)$$

O efeito matriz foi determinado por meio da comparação entre os coeficientes angulares da curva de calibração obtida pelo método dos padrões externos (subitem anterior) e da curva obtida com a amostra fortificada com o íon Al³⁺ (método da adição de padrão).²³ Este ensaio foi realizado em cinco níveis diferentes de concentrações finais nas misturas ternárias, dentro da faixa de linearidade do método analítico, 0,30; 0,62; 0,92; 1,25 e 1,55 ppm, em triplicata.²³

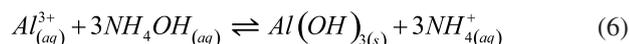
As medidas espectrofotométricas das misturas ternárias foram realizadas nas mesmas condições já citadas.

3. Resultados e Discussão

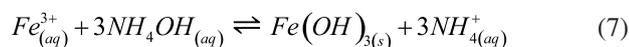
3.1. Identificação de alumínio nas sombras cosméticas

Os resultados da análise qualitativa das amostras de sombras cosméticas analisadas foram consolidados na Tabela 3. O alumínio está presente na composição química de todas as sombras cosméticas analisadas. A identificação de ferro não foi tratada neste trabalho, mas, dada a sua detecção em algumas sombras cosméticas analisadas, essa informação também foi incluída nesta tabela.

A identificação do alumínio foi alcançada após algumas etapas, principalmente abertura das amostras. Inicialmente, foi precipitado na forma de $Al(OH)_3$, com adição de solução de amônia, NH_3 6 mol L^{-1} , à solução da amostra, até pH ~9, para formar o tampão amoniacal, conforme equação química iônica (6).²⁶ Lembrando que já havia ácido clorídrico na solução da amostra.



A cor do precipitado, no caso das amostras C1, C2, D1, D2, E1 e E2, ficou marrom avermelhada, indicando a presença do íon Fe^{3+} nestas amostras, que precipitou na forma de $Fe(OH)_3$, de acordo com a equação química iônica (7), juntamente com outros hidróxidos, como o de alumínio (Figura 1).



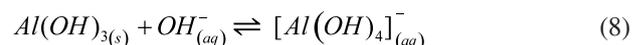
Essa observação experimental está de acordo com as informações contidas nos rótulos das embalagens das sombras cosméticas C1, C2, D1, D2, E1 e E2 (Tabela 1), pois os seus fabricantes informaram a possível presença dos corantes inorgânicos CI 77491, CI 77492, e CI 77499, os quais estão relacionados com óxidos de ferro.¹⁰

Em seguida, adicionou-se excesso de hidróxido de sódio,



Figura 1. Formação do precipitado gelatinoso de cor marrom avermelhada (amostra D2). O detalhe é após a lavagem do precipitado e separação do sobrenadante

$NaOH$ 4 mol L^{-1} , para solubilizar o $Al(OH)_3$, na forma de íon complexo, de acordo com a equação química (8).²⁰ Isso foi importante para separar o $Al(OH)_3$ do $Fe(OH)_3$, nos casos das amostras C1, C2, D1, D2, E1 e E2, bem como de qualquer outro resíduo da amostra, não mineralizado na sua abertura, como compostos de Si (ex.: SiO_2) e TiO_2 ,⁴ presentes no meio reacional.



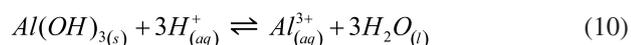
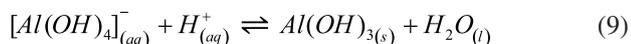
O $Fe(OH)_3$, quando presente, permaneceu insolúvel com a adição de excesso de base forte, conforme previsto no esquema de separação de cátions do Grupo III.²⁶ Para identificar o alumínio,^{20,26} adicionou-se HCl 6 mol L^{-1} , para neutralizar o excesso de hidróxido de sódio no meio reacional e dissolver o complexo de alumínio, convertendo-o a hidróxido de alumínio, conforme a equação iônica (9). Em seguida, foi dissolvido com excesso de HCl 6 mol L^{-1} , de acordo com a equação química iônica (10). Por fim, adicionou-se NH_3 6 mol L^{-1} , e reprecipitou-se o $Al(OH)_3$,

Tabela 3. Informações das análises qualitativas das sombras cosméticas analisadas

Códigos-Cores	1*	2*	3*	4*
A1-Laranja neon	Incolor, turvo	✔	✔	✘
A2-Azul	Amarelo claro	✔	✔	✘
B1-Laranja neon	Amarelo claro, turvo	✔	✔	✘
B2-Roxa	Amarelo claro	✔	✔	✘
C1-Laranja avermelhado	Amarelo forte	✔	✔	✔
C2-Laranja claro (palha)	Amarelo claro	✔	✔	✔
D1-Azul cintilante	Amarelo claro	✔	✔	✔
D2-Marrom	Amarelo forte	✔	✔	✔
E1-Laranja	Amarelo claro	✔	✔	✔
E2-Dourada (com glitter)	Amarelo claro	✔	✔	✔

1*. Cores das soluções das amostras, após a abertura; 2*. Formou $Al(OH)_3$? 3*. Resultado positivo para Alumínio na reação com Alizarina S? 4*. Foi observada a formação de $Fe(OH)_3$ na presença de solução de amônia?

de cor branca e gelatinoso, como mostra a equação química iônica (6). A identificação do alumínio é realizada em meio básico, pois este ensaio apresenta um resultado melhor do que em meio ácido.²⁷



A presença do alumínio pôde ser confirmada pela adição de solução de alizarina S ao meio reacional, após a formação $Al(OH)_3$, um precipitado branco gelatinoso, difícil de visualizar. Em todos os ensaios realizados, observou-se a formação de um precipitado roxo-avermelhado, ou laca de alumínio (Figura 2).^{28,29}

A definição de laca é dada por: *um precipitado obtido por fixação de um corante orgânico natural (de origem animal ou vegetal) ou sintético, solúvel ou insolúvel em água, sobre um suporte geralmente mineral (como hidróxidos metálicos, argilas etc.). Possui aplicação em tinturaria têxtil (corantes sobre mordente), em tintas de impressão, estampagem de papéis, entre outras. Portanto, as lacas possuem grande importância industrial.*³⁰

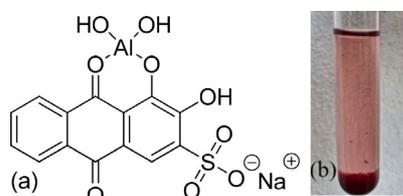


Figura 2. (a) Estrutura da laca de alumínio e (b) precipitado roxo-avermelhado obtido

Um estudo recente mostrou que as sombras cosméticas podem apresentar composições químicas variadas.¹⁰ Nos rótulos das embalagens dos produtos há informações sobre os compostos orgânicos e inorgânicos, bem como óxidos metálicos, presentes na sua composição química, conforme mostrado na Tabela 1. Observa-se que os corantes são informados com um código, de acordo com a Nomenclatura Internacional de Ingredientes Cosméticos (INCI). Por exemplo, o óxido de cromo é classificado de acordo com o código CI 77288.¹⁰

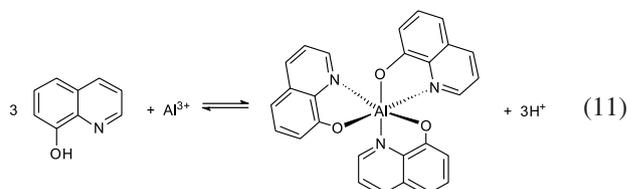
Há indícios de que alguns fabricantes brasileiros de sombras cosméticas ainda não estão atendendo a regulamentação vigente, e os produtos não estão de acordo com a INCI. Constatou-se que a composição nos rótulos de sombras cosméticas de cores variadas é idêntica, mas a análise elementar não comprovou tal semelhança, sugerindo que os órgãos reguladores ainda não são capazes de combater tais discrepâncias.⁶

A partir da análise dos rótulos das sombras cosméticas, Tabela 1, os fabricantes informaram os possíveis corantes inorgânicos que podem estar presentes nas composições químicas das sombras cosméticas analisadas, e não há menção à corante contendo alumínio em nenhuma delas,

exceto no *glitter* dourado da sombra cosmética E2, na forma de “pó de alumínio”, classificado com o código CI 77000¹⁰ (Tabela 1). Contudo, os rótulos das sombras cosméticas A1, A2, B1, B2, C1, C2, D1, D2, E1 e E2 informam que a mica está presente nas composições químicas destes produtos, a qual pode conter alumínio na forma de Al_2O_3 .⁶ As sombras cosméticas A1, A2, B1, B2, D1, D2, E1 e E2 contém caulim na sua composição química, uma rocha formada por silicatos hidratados de alumínio, onde a caulinita ($Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$) é o seu principal constituinte.³¹ Com base nesta análise, é provável que a fonte de alumínio nestas sombras esteja relacionada com a matéria-prima, como a mica ou caulim, usada na sua fabricação, e não com a sua adição intencional na forma de corante.

3.2. Método analítico espectrofotométrico para quantificação de alumínio nas sombras cosméticas

A reação que ocorre entre os íons Al^{3+} e a 8-hidroxiquinolina, formando o 8-hidroxiquinolinato de alumínio, é mostrada na equação química (11). A 8-hidroxiquinolina é um ligante bidentado; o átomo de hidrogênio é deslocado pelo íon metálico. Os átomos de oxigênio e de nitrogênio heterocíclico se ligam ao íon metálico, resultando num anel de 5 membros, conferindo estabilidade ao complexo octaédrico formado devido ao efeito quelato do ligante. Em geral, os oxinatos metálicos são bastante solúveis em clorofórmio, podendo ser extraídos com esse solvente, com produção de soluções de cor amarela.²²



Um espectro de absorção representativo da mistura ternária, solução padrão de Al^{3+} + etanol + solução de 8-hidroxiquinolina 0,5% (m/v) em clorofórmio, é mostrado na Figura 3. Observa-se a formação do 8-hidroxiquinolinato de alumínio, com pico de absorção em aproximadamente 400 nm, correspondente à transferência de carga do ligante quinolinolato para o íon metálico Al^{3+} (Figura 3 - *Inset*).³²

Os espectros de absorção das misturas ternárias não apresentaram bandas em comprimentos de onda maiores que 600 nm. Por outro lado, em comprimentos de onda menores que 380 nm a absorbância cresceu bruscamente, conforme pode-se observar na Figura 3, então destacou-se apenas a região de interesse (380 a 600 nm). Segundo a literatura,^{12,22,33} a banda de absorção do 8-hidroxiquinolinato de alumínio é observada em ~ 400 nm. A faixa de comprimento de onda empregada por Almeida e colaboradores¹² foi de 320 a 700 nm, mas esses autores¹² não apresentaram os espectros de absorção. Makki e Park³³ registraram o espectro de absorção do 8-hidroxiquinolinato de alumínio entre 300 e 700 nm, mas não informaram o solvente utilizado.

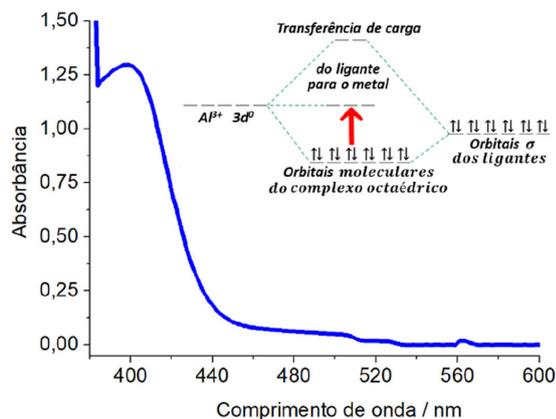


Figura 3. Espectro de absorção do 8-hidroxiquinolinato de alumínio. Concentração de $\text{Al}^{3+} = 1,55$ ppm. *Detalhe:* Diagrama de energia simplificado da transferência de carga do ligante 8-hidroxiquinolina para o íon metálico Al^{3+}

A curva de calibração foi construída a partir das medidas de absorvância das misturas ternárias compostas pela solução padrão de Al^{3+} , etanol e solução de 8-hidroxiquinolina em clorofórmio (0,5% m/v), a 400 nm (Figura 4).¹²⁻²² A equação da reta obtida foi $A = 0,01662 + 0,81053 \cdot [\text{Al}^{3+}]$, com coeficiente de correlação $r = 0,9998$.

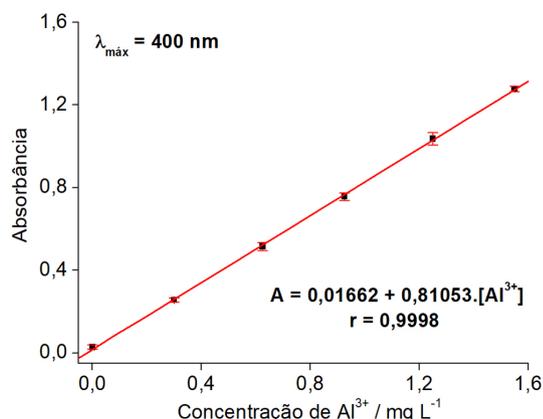


Figura 4. Curva de calibração

O coeficiente de correlação obtido, que foi acima de 0,990, assegura a linearidade do método analítico empregado.²³ A partir das medidas de absorvância das soluções das misturas ternárias das amostras de sombras cosméticas, em 400 nm, e da equação da reta, calculou-se a concentração de alumínio nas amostras. Os dados obtidos foram tratados, os quais foram consolidados na Tabela S1. A concentração de alumínio, expressa em % (m/m) ou em mg kg^{-1} (= ppm), está expressa nas duas últimas colunas da Tabela S1.

A partir da curva de calibração foram calculados os limites de detecção de 0,03 e de quantificação de 0,09, em termos de resposta (sinal analítico). Usando a equação da reta, o LD equivale a $0,02 \text{ mg L}^{-1}$ e o LQ corresponde a $0,09 \text{ mg L}^{-1}$, assegurando-se que o método proposto pode ser aplicado na detecção e quantificação de alumínio em sombras cosméticas.

Os valores médios de concentração, em mg kg^{-1} , bem como os valores de desvio (s) e de desvio padrão relativo das medidas (s_r), das amostras de sombras cosméticas analisadas, também estão disponíveis na Tabela S1. De acordo com o Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO),²⁵ os valores de s_r relacionam-se com a precisão do método analítico. Para estudos que envolvem soluções com concentrações de amostra da ordem de 1 mg kg^{-1} , para o método ser considerado preciso, o s_r aceitável é de até 11%.²⁵ Considerando este critério, o método apresentou precisão, pois os valores de s_r situaram-se entre 1,88 e 10,59%.

A partir da Tabela S1 observa-se que as três sombras cosméticas que apresentaram maiores teores de alumínio foram a D2 (marrom), a C1 (laranja avermelhado) e a A2 (azul), com teores médio de alumínio de $238795 \text{ mg kg}^{-1}$ ou 23,88% (m/m); $196349 \text{ mg kg}^{-1}$ ou 19,63% (m/m); e $183671 \text{ mg kg}^{-1}$ ou 18,37% (m/m), respectivamente, seguida das sombras cosméticas D1 (azul cintilante), B2 (roxa), E2 (dourada com *glitter*) e A1 (laranja neon), nas quais obteve-se os teores médio de Al^{3+} de: $119382 \text{ mg kg}^{-1}$ ou 11,94% (m/m); $117135 \text{ mg kg}^{-1}$ ou 11,71% (m/m); $100578 \text{ mg kg}^{-1}$ ou 10,06% (m/m); e 84185 mg kg^{-1} ou 8,42% (m/m), respectivamente. Comparativamente, as sombras cosméticas B1 (laranja); C2 (laranja claro), e E1 (laranja), apresentaram os menores teores de alumínio, sendo 49996 mg kg^{-1} ou 5,00% (m/m); 22725 mg kg^{-1} ou 2,27% (m/m); e 11458 mg kg^{-1} ou 1,14% (m/m), respectivamente.

Contudo, os rótulos das embalagens não informaram sobre a presença de alumínio na composição das sombras cosméticas, exceto no *glitter* dourado da sombra cosmética E2. O “pó de alumínio” é classificado de acordo com o código CI 77000.¹⁰ Isso sugere que a fonte de alumínio é oriunda da matéria-prima utilizada para produção destas sombras cosméticas, o que está de acordo com a suposição de Ngo e colaboradores¹ para justificar os altos teores de alumínio encontrados, em suas análises, nas sombras cosméticas.

De acordo com a literatura,¹² sombras cosméticas laranja contêm uma mistura de óxidos de ferro e alguns pós de alumínio na sua composição química, sombras cosméticas marrons possuem óxidos de ferro, enquanto as roxas contêm óxidos de alumínio para produzir tons perolados e óxidos de cobre. Contudo, nem todas as sombras cosméticas de cor laranja analisadas neste trabalho apresentaram ferro na sua composição química, como as sombras cosméticas A1 (laranja neon) e B1 (laranja) (ver Tabela 3). Sombras cosméticas analisadas por Almeida e colaboradores¹² apresentaram níveis elevados de Al, Cu e Fe, os quais apontaram que o Al e o Fe podem acarretar malefícios à saúde dos usuários; a quantidade detectada de Cu não sugeriu efeitos imediatos.

Os resultados obtidos neste trabalho estão de acordo com os relatados por Almeida e colaboradores,¹² com a mesma metodologia, e obtiveram teores de Al^{3+} de 242000, 277000

e 8000 mg kg⁻¹, para sombras cosméticas de cores laranja, marrom e roxa, respectivamente. Santos e colaboradores⁶ analisaram 23 sombras cosméticas de diferentes marcas, disponíveis no mercado brasileiro, utilizando a técnica de Fluorescência de raios-X. Os autores encontraram alumínio num total de 18 sombras cosméticas, na faixa de concentração de 20000 a 242000 mg kg⁻¹, cujos valores mostraram-se similares aos encontrados neste trabalho. O estudo aponta que é necessário um maior controle na regularização e na comercialização de produtos cosméticos.³⁴ Ngo e colaboradores¹ também usaram Fluorescência de raios-X para analisar 25 sombras cosméticas americanas, de cor e brilho variados. Os elementos Al, K, Fe, Ti e Rb foram encontrados em todas as sombras cosméticas. O teor encontrado de Al³⁺ foi de até 150000 mg kg⁻¹, o que está coerente com os resultados obtidos para as sombras cosméticas B2 (roxa), D1 (azul cintilante) e E2 (dourado com *glitter*). Segundo os autores,¹ a fonte de potássio e alumínio nestas sombras cosméticas está relacionada com minérios/sais de potássio e de aluminossilicatos presentes na composição.

O alumínio, um EPT, foi encontrado em concentrações muito altas nas seis sombras cosméticas, sendo três brasileiras e três chinesas, comercializadas em Salvador-BA, analisadas por Santana e colaboradores¹⁰ utilizando a técnica de Espectrometria de Emissão Atômica, AES, por plasma. Comparativamente, níveis mais elevados de Al³⁺ (7160-21900 mg kg⁻¹) foram encontrados nas amostras de origem chinesa. Os teores de alumínio nas sombras cosméticas C2 (laranja claro) e E1 (laranja) analisadas neste trabalho são similares aos teores obtidos por Santana e colaboradores.¹⁰

O teor médio de Al³⁺, determinado por Espectrometria de Massa com Plasma Indutivamente Acoplado, ICP-MS, em 15 sombras cosméticas coreanas foi de 68,29 ± 43,09 mg kg⁻¹.³⁵ Esses teores são bem menores, quando comparados com os resultados obtidos neste trabalho e com dados da literatura.

3.3. Validação do método analítico espectrofotométrico

Os valores médios de recuperação do analito adicionado para as amostras C2 e E1 representativas, nos três níveis de concentração, 0,30, 0,92 e 1,55 ppm, situaram-se entre 96,53 ± 2,26 % e 109,0 ± 1,51 %. Segundo o INMETRO,²⁵ para estudos que envolvem soluções com concentrações de amostra da ordem de 1 mg kg⁻¹, a recuperação média percentual aceitável de concentração conhecida do analito adicionado situa-se na faixa de 80 a 110%. Considerando este critério, o método apresentou exatidão.

A Figura 5 apresenta a curva de calibração obtida por meio do ensaio de adição de padrão, referente à amostra C2, analisada em triplicata (a, b e c) e representativa das demais amostras. As adições de padrão foram realizadas nas concentrações de 0,30; 0,62; 0,92; 1,25 e 1,55 ppm. A equação da reta obtida foi $A = 0,1203 + 0,81296 \cdot [Al^{3+}]$ adicionado], com coeficiente de correlação $r = 0,9998$.

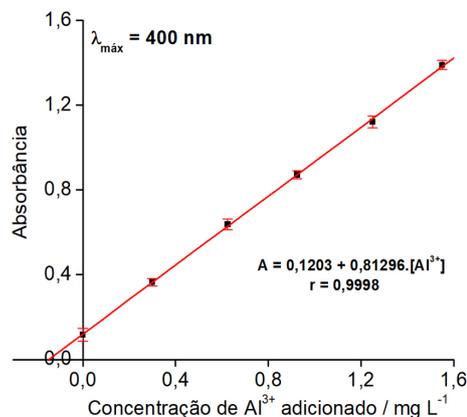


Figura 5. Curva de Calibração por Adição de Padrão

Os coeficientes angulares das retas obtidas tanto pelo método dos padrões externos quanto pela adição de padrão (com amostra fortificada com íon Al³⁺) foram semelhantes, indicando ausência de interferência dos constituintes da matriz.²³

4. Conclusões

A análise qualitativa das sombras cosméticas deste estudo evidenciou a presença de alumínio nas 10 amostras analisadas, de 4 marcas diferentes de baixo custo, oriundas da China, e de cores variadas. As sombras cosméticas A1, B1, C1, C2 e E1 são de cor laranja de tons diferentes; a D2 é de cor marrom; a A2 e a D1 são de cor azul; a B2 é roxa e a E2 é dourada com *glitter*. Contudo, os rótulos das embalagens não informaram sobre a presença de alumínio na composição das sombras cosméticas, exceto no *glitter* da sombra cosmética E2, sugerindo que a fonte deste elemento seja oriunda da matéria-prima utilizada na sua produção, não estando relacionada com a sua adição intencional na forma de corante.

Os parâmetros de validação do método analítico espectrofotométrico, linearidade, precisão, exatidão, LD e LQ foram determinados, e atestaram a sua eficácia na quantificação de alumínio em sombras cosméticas. Os ensaios de adição de padrão indicaram que não há interferência da matriz. Os teores de alumínio encontrados variaram de 11458 a 238795 mg kg⁻¹.

Todas as sombras cosméticas analisadas são potenciais fontes de riscos à saúde humana. Indivíduos que utilizam estes cosméticos estão expostos a altos níveis de alumínio, que combinado com o seu uso frequente, aumenta o risco de absorção deste metal pelo organismo, podendo resultar em efeitos toxicológicos.

Pesquisas científicas que abordam a presença de elementos potencialmente tóxicos em produtos cosméticos são necessárias e relevantes, para induzir o aprimoramento da regulamentação acerca do controle de qualidade de produtos de HPPC pela ANVISA, nos seguintes aspectos: ampliando o rol de metais tóxicos que os produtos

cosméticos podem conter e estabelecendo os seus limites de concentração; e exigindo que os fabricantes informem nos rótulos dos produtos de HPPC quais EPT estes poderão conter na sua composição química, bem como seu nível de concentração. Essas medidas podem mitigar os riscos da exposição dos consumidores a tais agentes químicos, garantindo a sua segurança.

Informações Suplementares

Informações Suplementares estão disponíveis gratuitamente em <https://rvq.sbgq.org.br/>.

Agradecimentos

Bruna Garibalde da Silva agradece o apoio da Pró-Reitoria de Ensino (PROENS/UFTM), por meio da concessão de bolsa ao Projeto de Ensino aprovado no Edital nº 23/2024/DAEN/DGE/PROENS/UFTM, de 19/12/2024, sob Registro nº 21/2025. Nathália Lina de Oliveira e Emily Aparecida Santana Cunha agradecem ao Programa Institucional de Iniciação Científica e Tecnológica da UFTM, da Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação da UFTM (PROPPG/UFTM), EDITAL Nº 01/2025/PROPPG/UFTM, de 10/01/2025. Os autores agradecem aos Departamentos de Física e Química do Instituto de Ciências Exatas, Naturais e Educação, ICENE/UFTM, especialmente aos Profs. Dr. Alexandre Rossi e Dr. José Fernando Condeles (pela infraestrutura disponibilizada para a realização deste trabalho), Dr^a. Tiara da Costa Silva (pela elaboração das estruturas químicas), e o servidor Dr. Frederico Campos Freitas, do Departamento de Física do ICENE/UFTM, pelo apoio técnico. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Referências Bibliográficas

- Ngo, T. T.; Thomas, S.; Stokes, D.; Benvenuto, M. A.; Roberts-Kirchhoff, E. S.; Em *Environmental Chemistry: Undergraduate and Graduate Classroom, Laboratory, and Local Community Learning Experiences*; Roberts-Kirchhoff, E. S.; Benvenuto, M. A., eds; American Chemical Society: Michigan, 2018, cap. 7. [Crossref]
- Zainy, F. M. A.; Alotaibi, O. A.; The Quality Control of Eye Shadow, Eyeliner, and Mascara Products that Sold on Saudi Markets. *International Journal of Pharmaceutical and Phytopharmacological Research* **2019**, *9*, 107. [Link]
- Miranda, C. C. da S.; Lima, H. R. S.; Brito, A. O.; Feitosa, Á. T. de O.; Murilo, B. M. da C.; Paiva, E. C. de; Silva, É. M. T. da; Santos, G. V. B. dos; Sousa, J. E. N. de; Alves, M. H. P.; Silva, M. S. da; Souza, M. A.; Pereira, N. de A.; Gonçalves, R. J. S.; Luz, V. S.; Silva, W. B. da; Alves, Y. dos S.; A presença de metais pesados em cosméticos e malefícios atribuídos aos usuários. *Revista de Casos e Consultoria* **2021**, *12*, e24789. [Link]
- Świerczek, L.; Cieślik, B.; Matysiak, A.; Konieczka, P.; Determination of heavy metals in eyeshadows from China. *Chemical Monthly* **2019**, *150*, 1675. [Crossref]
- Wang, B.; Tian, L.; Tian, L.; Wang, X.; He, Y.; Ji, R.; Insights into Health Risks of Face Paint Application to Opera Performers: The Release of Heavy Metals and Stage-Light-Induced Production of Reactive Oxygen Species. *Environmental Science & Technology* **2023**, *57*, 3703. [Crossref]
- Santos, B. V.; Oliveira Júnior, J. M. de; Bonventi Júnior, W.; Hanai-Yoshida, V. M.; Assessment of chemical elements in cosmetics' eyeshadows by X-ray fluorescence and International Nomenclature of Cosmetic Ingredients characterization. *X-Ray Spectrometry* **2018**, *47*, 242. [Crossref]
- Radwan, A.; El-Sewify, I. M.; Azzazy, H. M. E-S.; Monitoring of Cobalt and Cadmium in Daily Cosmetics Using Powder and Paper Optical Chemosensors. *American Chemical Society Omega* **2022**, *7*, 15739. [Crossref]
- Pawlaczyk, A.; Gajek, M.; Balcerk, M.; Szykowska-Jóźwik, M. I.; Determination of Metallic Impurities by ICP-MS Technique in Eyeshadows Purchased in Poland. Part I. *Molecules* **2021**, *26*, 6753. [Crossref]
- Bocca, B.; Pino, A.; Alimonti, A.; Forte, G.; Toxic metals contained in cosmetics: A status report. *Regulatory Toxicology and Pharmacology* **2014**, *68*, 447. [Crossref]
- Santana, C. M.; Sousa, T. L. de; Latif, A. L. O.; Lobo, L. S.; Silva, G. R. da; Magalhães, H. I. F.; Lopes, M. V.; Benevides, C. M. de J.; Araújo, R. G. O.; Santos, D. C. M. B. dos; Santos Júnior, A. de F.; Multielement determination (essential and potentially toxic elements) in eye shadows exposed to consumption in Brazil using ICP OES. *BioMetals* **2022**, *35*, 1281. [Crossref]
- Diário Oficial da União. Órgão: Ministério da Saúde/Agência Nacional de Vigilância Sanitária/Diretoria Colegiada. Resolução RDC nº 628, de 10 de março de 2022. Dispõe sobre a lista de substâncias corantes permitidas para produtos de higiene pessoal, cosméticos e perfumes e internaliza a Resolução GMC MERCOSUL nº 16/2012. [Link]
- Almeida, A. M.; Martins, I. P.; Amaral, P. M. P.; Borges, V. A.; Pinto, L. A. S.; Ionashiro, E. Y.; Mesquita, N. A. da S.; Soares, M. H. F. B.; Determinação de Al³⁺, Fe³⁺ e Cu²⁺ presentes em sombras de maquiagem por espectrofotometria UV-Vis: Uma proposta de experimento contextual em nível superior de ensino. *Química Nova* **2019**, *42*, 355. [Crossref]
- Sedwick, V.; Leal, A.; Turner, D.; Kanu, A. B.; Quantitative Determination of Aluminum in Deodorant Brands: A Guided Inquiry Learning Experience in Quantitative Analysis Laboratory. *Journal of Chemical Education* **2018**, *95*, 451. [Crossref]
- Abdelhameed, N. G.; Ahmed, Y. H.; Yasin, N. A. E.; Mahmoud, M. Y.; El-sakhawy, M. A.; Effects of Aluminum Oxide Nanoparticles in the Cerebrum, Hippocampus, and Cerebellum of Male Wistar Rats and Potential Ameliorative Role of Melatonin. *ACS Chemical Neuroscience* **2023**, *14*, 359. [Crossref]

15. Mesko, M. F.; Novo, D. L. R.; Costa, V. C.; Henn, A. S.; Flores, E. M. M.; Toxic and potentially toxic elements determination in cosmetics used for make-up: A critical review. *Analytica Chimica Acta* **2020**, *1098*, 1. [[Crossref](#)]
16. BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Biblioteca de cosméticos. [[Link](#)]
17. Atz, V. L.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2008. [[Link](#)]
18. Augusto, A. dos S.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade Federal de São Carlos, 2014. [[Link](#)]
19. Alsaffar, N. M.; Hussein, H. J.; Determination of heavy metals in some cosmetics available in locally markets. *IOSR Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology* **2014**, *8*, 9. [[Link](#)]
20. Baccan, N.; Godinho, O. E. S.; Aleixo, L. M.; Stein, E.; *Introdução à Semimicroanálise Qualitativa*, 4a. ed., UNICAMP: Campinas, 1994.
21. Morita, T.; Assumpção, R. M.; *Manual de soluções, reagentes e solventes: Padronização, preparação*, 2a. ed., Editora Edgard Blücher Ltda: São Paulo, 1972.
22. Almeida, E. S.; Eiras, S. P.; Estudo da Extração Líquido-Líquido de Íons Al³⁺ com 8-HOx e Fase Única dos Solventes Água-Etanol-Clorofórmio. *Horizonte Científico* **2011**, *5*, 1. [[Link](#)]
23. Diário Oficial da União. Órgão: Ministério da Saúde/Agência Nacional de Vigilância Sanitária/Diretoria Colegiada. Resolução RDC nº 166, de 24 de julho de 2017. Dispõe sobre a validação de métodos analíticos e dá outras providências. [[Link](#)]
24. Mendham, J.; Denney, R. C.; Barnes, J. D.; Thomas, M. J. K.; *Análise Química Quantitativa*, 6a. ed., LTC: Rio de Janeiro, 2002.
25. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial, Coordenação Geral de Acreditação. Orientação Sobre Validação de Métodos Analíticos, DOQ-CGCRE-008, Revisão 09, 2020. [[Link](#)]
26. Assunção, A. D.; Almeida, M. R. de; Oliveira, N. L. de; Cunha, E. A. S.; Silva, C. H. H. da; Luiz Júnior, C.; Silva, L. A. da; Alves, V. A.; A Beleza da Química Analítica Qualitativa na Proposição de Esquemas de Separação e Identificação de Níquel em Bijuterias. *Revista Virtual de Química* **2024**, *16*, 927. [[Crossref](#)]
27. Dantas, J. M.; Silva, M. G. L.; Santos Filho, P. F.; Um estudo em química analítica e a identificação de cátions do grupo III. *Educación química* **2011**, *22*, 32. [[Link](#)]
28. Alexéiev, V. N.; *Semimicroanálisis Químico Cualitativo*, 1a. ed., Mir Moscú, 1975.
29. Vogel, A. I.; *Química Analítica Qualitativa*, 5a. ed., Mestre Jou: São Paulo, 1981.
30. Química Analítica Qualitativa Inorgânica UFRJ. Acesso em: 29 junho 2024. [[Link](#)]
31. Mártires, R. A. C.; Caulim. Acesso em: 07 março 2024. [[Link](#)]
32. Zhong, C.; Wu, Q.; Guo, R.; Zhang, H.; Synthesis and luminescence properties of polymeric complexes of Cu(II), Zn(II) and Al(III) with functionalized polybenzimidazole containing 8-hydroxyquinoline side group. *Optical Materials* **2008**, *30*, 870. [[Crossref](#)]
33. Makki, A. H.; Park, S.-H.; Yellow Emissive Tris(8-hydroxyquinoline) Aluminum by the Incorporation of ZnO Quantum Dots for OLED Applications. *Micromachines* **2021**, *12*, 1173. [[Crossref](#)]
34. Profeta, G.; Acesso em: 20 novembro 2024. [[Link](#)]
35. Lim, D. S.; Roh, T. H.; Kim, M. K.; Kwon, Y. C.; Choi, S. M.; Kwack, S. J.; Kim, K. B.; Yoon, S.; Kim, H. S.; Lee, B.-M.; Non-cancer, cancer, and dermal sensitization risk assessment of heavy metals in cosmetics. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A* **2018**, *81*, 432. [[Crossref](#)]