SOBRE A COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO FUSÍVEL: ASPECTOS CENTRAIS DOS ELEMENTOS PRATA, ALUMÍNIO E SILÍCIO

ABOUT THE CHEMICAL COMPOSITION OF THE FUSE: KEY ASPECTS OF THE ELEMENTS SILVER, ALUMINUM, AND SILICON

Vitória Pinheiro Monteiro[1]

[1] Universidade Federal do Pará, Belém, Pará, Brasil.

Resumo

Os fusíveis são utilizados na proteção contra curtos-circuitos ou sobrecargas em instalações residenciais, comerciais e industriais, apresentando especificações técnicas conforme valores de corrente e tensão. Assim, os materiais empregados na fabricação dos fusíveis devem ser estudados segundo características gerais, isto é, de acordo com os elementos químicos principais presentes na dimensão estrutural. Objetivo: Logo, este trabalho tem como objetivo expor especificidades centrais dos elementos químicos fundamentais na constituição do fusível tradicional de cartucho: a prata (Ag), o alumínio (Al) e o silício (Si). Metodologia: Em dimensões metodológicas, organizou-se como um estudo bibliográfico, de caráter qualitativo. Resultados: Compreendeu-se variáveis químicas, atômicas e históricas em torno dos três principais elementos que compõem o fusível. Por exemplo, a partir da especificidade da prata e do alumínio como bons condutores, vislumbrou-se por quais razões eles são utilizados na confecção das fitas condutoras. Da mesma forma, identificou-se o silício como elemento empregado na construção do vidro e da cerâmica, materiais com bons níveis de isolamento elétrico. Conclusão: Portanto, a partir da análise de variáveis qualitativas e quantitativas de tais elementos químicos, evidenciou-se o funcionamento do fusível em sua ótica estrutural, de arranjos atômicos e de como esses materiais são moldados por técnicas de tratamento que acompanham o desenvolvimento humano; não como leis universais, mas como métodos sempre passíveis de questionamentos, melhorias e resoluções.

Palavras-chave: Fusível; Composição química; Alumínio; Prata; Silício.

Abstract

Fuses are used to protect against short circuits or overloads in residential, commercial, and industrial installations, and their technical specifications are based on current and voltage values. Therefore, the materials used in fuse manufacturing must be studied according to their general characteristics, that is, according to the main chemical elements present in their structural dimensions. Objective: Thus, this work aimed to present the central specificities of the fundamental chemical elements in the constitution of the fuse, namely,

Silver (Ag), Aluminum (Al), and Silicon (Sc). Methodology: Methodologically, this was a qualitative bibliographic study. Results: Chemical, atomic, and historical variables surrounding the three main elements that compose the fuse were understood. For example, based on the specificity of Silver and Aluminum as good conductors, the reasons why they are used in the manufacture of conductive tapes were explored. Similarly, Silicon was studied as an element used in the construction of glass and ceramics, that is, materials with good levels of electrical insulation. Conclusion: Therefore, based on the analysis of qualitative and quantitative variables of these chemical elements, the functioning of the fuse was evidenced from a structural perspective, considering atomic arrangements and how these are shaped by treatment techniques that accompany human development, not as universal laws, but as methods always subject to questioning, improvements, and resolutions.

Keywords: Fuse; Chemical composition; Aluminum; Silver; Silicon.

Recebido em: 08-06-2026 Publicado em: 25-11-2026

Autora correspondente
Vitória Pinheiro Monteiro
R. Augusto Corrêa, 01 – Guamá, Belém – PA, 66075-110.
E-mail: vitoriapinheiro234@gmail.com

1. Introdução

Os fusíveis tradicionais de cartucho são empregados na proteção contra curtos-circuitos ou sobrecargas de instalações residenciais, comerciais e industriais[1]. Quando esses fenômenos ocorrem, o fusível, como um equipamento elétrico conectado em série, abre o circuito elétrico, interrompendo o fluxo da corrente e protegendo o sistema elétrico. Presente na maioria dos sistemas eletroeletrônicos, esse componente é composto essencialmente por duas partes estruturais centrais. A primeira é um invólucro de vidro ou cerâmica – este último utilizado em aplicações que exigem maior robustez –, responsável por envolver e proteger o segundo elemento: um fio metálico interno, geralmente feito de alumínio ou prata, materiais escolhidos por sua alta condutividade elétrica. É justamente esse fio interno, em formato de fita, que se rompe ao ser percorrido por um valor determinado de corrente elétrica. Isso ocorre porque, pelo efeito Joule, o fio se aquece a uma temperatura proporcional à intensidade da corrente, fundindo-se quando esse limite é ultrapassado[2].

Além disso, os fusíveis são considerados dispositivos elétricos mais baratos que os disjuntores, em termos de um mesmo dimensionamento, e ambos são componentes que protegem o sistema de carga excessiva. Entretanto, a grande diferença consiste no fato de que, em caso de sobrecarga ou curto-circuito, o elemento fusível, não o conjunto, deve ser trocado[1]. Essa particularidade ocorre devido ao mecanismo de interrupção, em que o condutor interno é rompido. Para evitar possíveis falhas do circuito e desarmes desnecessários, o dispositivo de proteção deve ser dimensionado corretamente, conforme a corrente e a tensão utilizadas no sistema[1].

Por exemplo, se um fusível for classificado como de 20 ampères (A), ele permitirá a passagem de até, no máximo, 20 A. Para qualquer valor acima desse número, o fusível é acionado, por intermédio do derretimento da fita conectada em série ao circuito. Sua aplicabilidade se concentra, sobretudo, em situações de prevenção de incêndios ou queima de equipamentos elétricos em cenários de curto-circuito; especialmente quando, com o tempo de uso, o isolamento que separa os fios se desgasta, permitindo, como consequência, que eles se toquem. Tal processo reduz a resistência do circuito e produz uma efetiva diminuição do seu comprimento[2]. Embora não sejam mais empregados com regularidade em construções e montagens tecnológicas estruturais contemporâneas, uma vez que têm sido substituídos gradativamente pelos interruptores de circuitos, conhecidos como disjuntores, ainda são bastante aplicados em construções menos robustas, principalmente em cenários cotidianos das sociedades[2].

Como a maioria dos elementos eletroeletrônicos, fusíveis e disjuntores são especificados por corrente e tensão[3]. Assim, a corrente nominal do fusível ou do disjuntor representa a máxima corrente que o dispositivo conduzirá sem fundir ou desarmar e, consequentemente, abrir o circuito. Logo, a corrente nominal, nesses dispositivos, não deve exceder a capacidade de condução do circuito[1]. Nesse contexto, os materiais empregados na fabricação dos fusíveis devem ser estudados segundo características gerais, isto é, de acordo com os elementos químicos principais presentes na dimensão estrutural de tal componente elétrico.

Diante do exposto, neste estudo, busca-se expor especificidades centrais dos elementos químicos fundamentais na constituição do fusível tradicional de cartucho, isto é: prata (Ag), alumínio (Al) e silício (Si). Inscreve-se, portanto, como uma investigação bibliográfica sobre a composição química do fusível, que se propõe a expor importantes contribuições teóricas para a compreensão do fusível tradicional de cartucho, além de reflexões fundamentais sobre questões tecnológicas, físicas, químicas e históricas em torno dos elementos químicos citados anteriormente. Para isso, este estudo se organiza em cinco seções, além desta introdução, são elas: metodologia, com os parâmetros metodológicos empregados; em seguida, apresentam-se três tópicos constituídos por discussões sobre as principais caracterizações químicas da prata, do alumínio e do silício, respectivamente; por fim, as considerações finais serão descritas.

2. Metodologia

A investigação é, de fato, a prática do ofício do trabalho intelectual, na qual, a partir de articulações teóricas provenientes de diferentes campos epistemológicos, constrói-se o saber que busca explicar fenômenos, sejam eles tecnológicos, sociais ou ambos, em interação e articulação[4]. Nesse movimento, estabelece-se um diálogo entre o plano terreno (material) e o subjetivo (das ideias, das influências epistemológicas e da teoria), de modo que o pesquisador, atravessado por vivências que transformaram sua percepção e interpretação dos fatos fenomenológicos e de suas aplicações, utiliza o objeto pertencente à realidade concreta para desenvolver e relacionar conceitos e interpretações capazes de responder aos questionamentos levantados ao longo da investigação[4].

Além disso, o conhecimento é similar à construção de um objeto que se busca compreender[5]. Por conseguinte, ele é

fruto de uma construção referente ao objeto, ao buscar-se respostas a questionamentos, e não de sua representação[6]. Dessa maneira, ao ter como intenção o estudo químico do fusível, faz-se necessário compreender características das propriedades atômicas, do comportamento químico, bem como das variáveis históricas que traduzem a aplicação, os desafios e as consequências de primeira, segunda e terceira instância na utilização dos elementos Ag, Al e Si.

Feitas essas delimitações, este trabalho se posiciona como um estudo bibliográfico, de caráter qualitativo, com foco nas especificidades dos elementos químicos que mais se fazem presentes na estrutura cristalina do fusível. Assim, recorre a um conjunto de produções bibliográficas pertencentes ao campo da Química, como Chang e Goldsby (2013), Atkins e Jones (2012), Schiavona et al. (2015), Souza (2012), Araujo et al. (2021) e Silva e Filgueiras (2023). No contexto da Física e da Engenharia Elétrica, utiliza-se de Hewitt (2015), Dorigon et al. (2015) e Bravin et al. (2013).

Nesse sentido, baseando-se no artesanato intelectual, isto é, no manuseio da teoria como costura, condensou-se conceitos, ideias e variáveis elementares químicas em duas sínteses temáticas, quais sejam: 1) Fatores históricos, atômicos e de comportamento químico da prata e do alumínio, como elementos químicos principais na composição da fita condutora do fusível. 2) Fatores históricos, atômicos e de comportamento químico do silício, como elemento químico base da produção do vidro e da cerâmica, materiais aplicados em partes externas do fusível, em prol da isolação e proteção do fio condutor. Diante disso, é importante ressaltar que esses eixos foram utilizados conforme os parâmetros de tratamento de dados da análise de conteúdo, ou seja, como guias do caminho de estudo tomado no processo de reflexão e discussão das informações a serem articuladas neste trabalho, a partir de contrastes e suturas com o referencial teórico exposto[7].

3. Resultados e discussão

3.1 Sobre a prata

Os primeiros metais a serem manipulados e utilizados pelas sociedades humanas foram aqueles encontrados na natureza, na forma de elemento puro, como a prata. Ora, acredita-se que tal elemento, após o ouro e o cobre, tenha sido o terceiro metal a ser encontrado e manipulado pelo homem, denominado de “metais de cunhagem”, por sua aplicabilidade na confecção de moedas[8].

Existem relatos de objetos de prata datados de 5000 a.C, mas a sua mineração começou na Turquia e na Grécia por volta de 3000 a.C.9. O metal era obtido por um processo chamado copelação, desenvolvido pelos caldeus, que consistia em fundir a mistura metálica e induzir a passagem de um grande fluxo de ar, resultando na oxidação de vários metais presentes nessa liga, tais como cobre e chumbo. A prata era isolada devido à sua baixa oxidação durante o processo.

Os alquimistas consideravam a prata como o elemento mais próximo do ouro e, uma vez que esse último era um metal classificado culturalmente como “perfeito”, o símbolo da riqueza e poder, associaram-lhe o símbolo de um círculo, representando o sol; e à prata, por sua vez, “quase perfeita”, atribuíram-lhe a simbologia de um semicírculo, representando a lua. O nome dado a esse metal se deve ao seu brilho característico, em que a palavra “prata”, em grego (argyros), significa “brilhante”. No anglo-saxão, era chamado “Siloflur”, que foi posteriormente nomeado como “Silabar”[9].

O termo foi, então, reformulado para “Silber”, em inglês “Silver” (o nome do metal nessa língua). Foi nesse limiar histórico que o símbolo químico dado à prata (Ag) foi associado à sua nomeação em latim, ou seja, “Argentum”, que remete ao brilhante, nomeação dada à prata pelos romanos[9].

A chegada de europeus às Américas, principalmente na América do Sul, em 1492, foi seguida pela abertura, extração e comercialização em larga escala de grandes minas de prata no México, Bolívia e Peru. Quando os colonizadores espanhóis descobriram a mina de prata em Potosí, na Bolívia, migraram para o local, estabelecendo rotas, impostos, cidades e instituições. Durante o período de alta produção argentífera em Potosí, nos séculos XVI-XVII, essa foi a cidade mais populosa de todo o “Novo Mundo”. A jazida de Potosí, a maior mina de prata encontrada no mundo, foi explorada durante cerca de 300 anos, por intermédio de um sistema imperial de dominação que inferiorizava todo indivíduo diferente do colonizador. A prata era extraída e alienada somente como matéria-prima, por meio da subjugação daqueles que, inspirando-se em Frantz Fanon, eram chamados de “condenados da terra”, bem como do exercício de um poderio predatório sobre a natureza[10].

Com o desenvolvimento tecnológico e, em especial, das técnicas químicas, a extração do elemento se vinculou ao processo de amálgama de mercúrio, que possibilitou um aumento na extração da prata a partir de seus minérios e ampliou tanto a qualidade quanto a quantidade de metal explorado. Entre 1500 e 1800, Bolívia, Peru e México responderam por mais de 85% da produção mundial de prata8. Após 1850, vários outros países tiveram um aumento na produção de prata. Apesar de a América Latina ser uma grande produtora de prata, há países, como o Brasil, que necessitam importar o metal, visando atender à demanda do mercado interno.

No caso do Brasil, existe uma pequena produção de prata que tem sido obtida como um subproduto do beneficiamento do ouro ou por meio da reciclagem. No território brasileiro, os principais setores responsáveis pelo consumo do elemento e de seus compostos são as indústrias fotográfica e radiográfica, de produtos odontológicos, de joalheiria e de peças decorativas. No entanto, o manuseio e a aplicação da prata somente ocorrem mediante a compreensão de suas características químicas, sobretudo segundo a tabela periódica, na qual o elemento é posicionado como um metal de transição, pertencente ao grupo 11 (conhecida anteriormente como família 1B, período 5).

A prata possui um brilho branco metálico característico e, por ser altamente refletiva, apresenta espectro brilhante, além de textura maleável, dúctil e alta condutividade elétrica. Justamente por essa última característica mencionada, ela é aplicada nas fitas condutoras dos fusíveis modernos, especialmente por apresentar pouca reatividade, bastante resistente à corrosão com oxigênio ou água, embora não o seja com ácidos fortes e compostos contendo enxofre. Sobre seu índice de resistividade, situa-se em torno de 1.64x10-8 Ω.m a 20°C, bem como detém um coeficiente de temperatura de 0,0038°C-1 a 20°C[8].

Ora, a prata se localiza como metal de transição e se apresenta em estado físico sólido, quando submetido à temperatura ambiente. Além disso, seu raio atômico aproximado é de 145 picômetros, e sua massa, em valores arredondados, 107,87 u. No que concerne ao seu comportamento

químico, seus estados de oxidação mais comuns são: +1(Ag+) e o estado de oxidação +2, principalmente em complexos, isto é, compostos complexos ou de sais solúveis com ânions não redutores, como nitrato e perclorato. Esses complexos possuem geometria quadrado plano e são paramagnéticos[9].

Para mais, a prata apresenta 47 prótons, 47 elétrons e 60 nêutrons no isótopo mais abundante. Tal metal possui 35 isótopos com meias-vidas conhecidas, com números de massa de 94 a 128. A prata encontrada na natureza é uma mistura de seus dois isótopos estáveis: 107Ag e 109Ag, com abundâncias naturais de 51,8% e 48,2%, respectivamente, esses são os mais comuns nas aplicações tecnológicas, como em fios condutores de fusíveis[8].

Isso posto, a prata apresenta grande aplicabilidade, não somente em termos de estrutura de materiais, mas também por sua interação com os organismos humanos. Um exemplo disso é que os sais de prata foram usados nos séculos XVIII e XIX como agentes antibacterianos no tratamento de conjuntivite, gastroenterite, gonorreia, sífilis e vício em nicotina[9]. Os mecanismos pelos quais a prata exerce seus efeitos tóxicos contra bactérias, fungos, protozoários e células tumorais são complexos e têm sido estudados na contemporaneidade, no entanto, existem evidências de que a parte ativa é sempre o íon Ag+, liberado no organismo a partir de sais de prata, complexos ou nanopartículas. Os mecanismos envolvidos na sua citotoxicidade estão associados a uma série de efeitos que o íon Ag+ induz nas bactérias ou células tumorais[9].

Assim, a prata, quando associada à prática clínica em organismos biológicos, apresenta as seguintes características: inibição da troca de íons, em que o íon Ag+ inibe a absorção e troca de fosfato em micróbios. Os íons Ag+ também provocam a liberação de íons K+ das bactérias. Por conseguinte, a membrana citoplasmática bacteriana representa um alvo importante da ação do íon Ag+. Esse íon é capaz, ainda, de causar o colapso da força próton-motriz microbiana; inibição de enzimas e desnaturação de proteínas, em que o íon Ag+ forma complexos com os grupos funcionais doadores de elétrons dos resíduos de aminoácidos como os grupos tiol, carboxilato, fosfato, hidroxila, amino, imidazol e indol, resultando na desativação da enzima.

Logo, a interação da prata com essas biomoléculas pode alterar suas estruturas, causando interrupção de suas funções, especialmente nas oxidações enzimáticas do fumarato, glicerol, glicose e succinato do metabolismo do microrganismo. Apresenta, também, encolhimento e ruptura das membranas celular e mitocondrial, em que, após exposição ao íon prata, a membrana citoplasmática sofre um encolhimento e se separa da parede celular, ocasionando a liberação do conteúdo celular a partir da ruptura da parede celular. Esse fato sugere o possível mecanismo antibacteriano da prata, responsável pela inibição do crescimento populacional do microrganismo, bem como pela resposta celular das bactérias gram-positivas e gram-negativas diante do tratamento pelo íon Ag+.

Além disso, faz-se importante destacar que, embora o mecanismo celular apresentado seja preciso para microrganismos, na prática clínica, a prata não é inserida em organismos complexos, como os humanos. A prata, assim como ataca estruturas proteicas essenciais e membranas celulares, em altas concentrações, também se torna tóxica para as células humanas[9]. Para mais, o acúmulo de prata no organismo provoca uma condição irreversível conhecida como argiria (que confere à pele uma

coloração azul-acinzentada). É justamente nesse movimento que o uso terapêutico atual da prata faz uso das denominadas “pomadas de sulfadiazina de prata” em queimaduras ou aplicada ao revestimento de superfícies de instrumentos médicos (como cateteres) para inibir a formação de biofilme bacteriano.

Apesar de os mecanismos antibacterianos da prata ainda não serem totalmente compreendidos, vários estudos têm mostrado que a interação entre a prata e compartimentos da membrana bacteriana resulta em modificações estruturais na membrana e na atividade metabólica intracelular, capazes de levar à morte celular. Além disso, apresenta o chamado “efeito Zumbi”, no qual bactérias mortas pela prata atuam como “esponjas”, tornando-se reservatórios de Ag, que transmitem os íons Ag+ para bactérias vivas e, consequentemente, transferem seu efeito tóxico para os microrganismos vivos[9].

A prata, ainda que não seja um metal abundante, pode ser encontrada na natureza no estado nativo e na forma combinada, como no mineral argentita (Ag2S). Sua extração pode ocorrer também na forma de ciano-complexos solúveis a partir de seus minérios. No entanto, a maior parte é obtida como subproduto do refino eletrolítico de metais comuns (Cu, Pb e Zn). Na atualidade, uma quantidade considerável do metal é obtida por meio da reciclagem, em especial pela indústria fotográfica e eletrônica. Quando combinada com os outros elementos do quadro periódico, a prata exibe essencialmente o estado de oxidação +1(AgCl), exceto em AgF2, cujo estado de oxidação é +2. Todos os sais de Ag(I) são insolúveis, com exceção do AgNO3, AgF e AgClO4. A seguir, apresenta-se a tabela 1, com características químico-físicas da prata.

TABELA 1 – Características da prata

Especificações	Valores
Ponto de Ebulição (°C)	2162
Ponto de Fusão (°C)	961,8
Configuração Eletrônica	[Kr]4d105s1
Densidade (g.cm-3)	10,5

Tabela elaborada pela autora para exemplificar as principais variáveis físico-químicas do elemento prata.

3.2 Sobre o alumínio

De modo similar à prata, o alumínio é um elemento bastante utilizado na confecção de fios condutores de fusíveis devido à sua alta condutividade. Desde a antiguidade, os compostos de alumínio eram empregados para diferentes utilidades, como na produção de armas, joias, tigelas e estruturas arquitetônicas[11]. Na atualidade, com a compreensão mais aprofundada de suas características como elemento químico, suas aplicações cresceram ainda mais é encontrado em vários segmentos, como: na indústria têxtil, para o tingimento de tecidos; na farmacêutica, para a produção de medicamentos; no tratamento da água potável; na produção de produtos de higiene; e no campo da elétrica, na construção de dispositivos

eletroeletrônicos.

Apesar de a forma pura metálica do alumínio ser encontrada com maior facilidade a partir da segunda metade do século XIX, os compostos de alumínio já eram utilizados há milhares de anos. Por exemplo, existem registros na Pérsia, em 6000 a.C., sobre a produção de vasos e outros utensílios de cerâmica contendo alto teor de óxido de alumínio. Em 3000 a.C., os egípcios e babilônios utilizavam esse composto para a produção de medicamentos, cosméticos e tingimento de tecidos. O sulfato de alumínio já era conhecido há 4000 anos como um sal utilizado para fixar corantes em tecidos.

De fato, o Al é um dos elementos mais abundantes da crosta terrestre, é encontrado na forma de óxido de alumínio (Al2O3), denominado alumina, que pode ser encontrada na bauxita (contém cerca de 60% de Al2O3)[11]. O principal minério de Al foi descoberto em 1821 pelo geólogo Pierre Berthier, na aldeia Les Baux-de-Provence, localizada no Sul da França. Além disso, foi isolado na forma metálica pela primeira vez em 1827, pelos cientistas Friedrich Wöhler (1800-1882) e Hans Christian Orsted (1777-1851). Com a revolução industrial no século XIX e a busca por materiais com boas propriedades químicas e físicas, foram desenvolvidos processos industriais para a produção de alumínio metálico em larga escala. Entre eles, destacam-se os processos Hall-Héroult, desenvolvido pelos engenheiros Paul Héroult (francês) (1863-1914) e Charles Martin Hall (americano) (1863-1914) em 1886, e o processo Bayer, desenvolvido pelo químico austríaco Carl Joseph Bayer (1847-1904) em 1889.

Nesse sentido, quando os cientistas utilizaram os primeiros espectrômetros de massas, descobriram que nem todos os átomos de um elemento apresentam a mesma massa[12]. Tal observação desencadeou a necessidade de um maior refinamento do modelo nuclear. Assim, perceberam que o núcleo atômico deve conter outras partículas subatômicas além dos prótons e elétrons, e propuseram que deveria conter partículas eletricamente neutras, chamadas de nêutrons. Os nêutrons não afetam a carga elétrica do átomo, devido ao fato de apresentarem neutralidade; contudo, aumentam substancialmente a massa do núcleo. Por essas razões, números diferentes de nêutrons no núcleo originam átomos com pesos divergentes, mesmo que pertençam ao mesmo elemento químico[13].

O número total de prótons e nêutrons de um núcleo é chamado de número de massa A do átomo[2]. Logo, os átomos que apresentam o mesmo número atômico, pertencendo, portanto, ao mesmo elemento, mas que possuem diferentes números de massa, são chamados de "isótopos" do elemento. Além disso, todos os isótopos de um elemento apresentam o mesmo número atômico, isto é, a mesma quantidade de prótons e elétrons[12]. Logo, no contexto do alumínio, tem-se um elemento com raio atômico correspondente a 143 picômetros e detentor de 13 elétrons, 13 prótons e 14 nêutrons no isótopo mais abundante. O alumínio possui o composto +3(Al^{3+}) como estado de oxidação mais comum. Além deste, na especificidade do silício, o estado de oxidação mais comum é o +4(Sc4+).

Em suma, como um elemento bastante aplicado na confecção dos fios metálicos que conduzem a corrente elétrica no fusível, o alumínio consiste em um metal com número atômico 13; massa atômica 26,98 u, pertencente ao 3º período ou terceira linha, grupo 13 (família do boro) da tabela periódica. Tal posição o classifica como um metal que, à temperatura

ambiente, apresenta-se no estado físico sólido[11]. É importante ressaltar, diante disso, que os grupos da tabela periódica identificam as principais famílias dos elementos. As colunas mais altas são chamadas de grupos principais da tabela. As linhas horizontais, por sua vez, são denominadas de períodos e são numeradas de cima para baixo. Além disso, os períodos representam os níveis energéticos em que os elementos se encontram, em seu estado natural. As quatro regiões retangulares da tabela são chamadas de blocos e, por isso estão relacionadas à estrutura atômica, e são denominadas de níveis energéticos[13] s, p, d, e f. Os membros do bloco d, com exceção do grupo [12], do zinco, são chamados de "metais de transição", ao qual a prata pertence. A seguir, encontra-se a tabela 2, com especificidades físicas e químicas do alumínio, para além das já apresentadas.

TABELA 2 – Características do alumínio

Especificações	Valores
Ponto de Ebulição (°C)	2519
Ponto de Fusão (°C)	660, 32
Configuração Eletrônica	[Ne]3s23p1
Densidade (g.cm-3)	2,70

Tabela elaborada pela autora para exemplificar as principais variáveis físico-químicas do elemento alumínio.

3.3 Sobre o silício

O vidro é um dos materiais mais utilizados como suporte em operações químicas, bem como na construção de aparatos tecnológicos, como os fusíveis[14]. O vidro apresenta grande variedade de composição e propriedades, em que o componente principal é o silício (Si). Tal elemento químico se faz presente em grande quantidade na crosta terrestre, seja como sílica ou óxido de silício, encontrados naturalmente como areia ou quartzo ou na forma de silicatos.

De fato, o vidro natural mais comum, conhecido como obsidiana, é um material produzido em erupções vulcânicas em que a sílica se funde junto às lavas produzidas nesses fenômenos. A obsidiana foi utilizada nas culturas mais antigas, ao redor do mundo, pela sua facilidade em ser cortada para formar pontas de flecha ou lâminas cortantes. Logo, com o advento do domínio técnico do vidro e, em especial, dos compostos químicos que o constituem, passou-se a produzir frascos e objetos artísticos de valor cultural entre povos antigos, sobretudo do continente americano, como os astecas.

Além da obsidiana, existem outros modelos de vidro natural menos comuns, como os tectitos, que dizem respeito a um aglomerado de pequenas rochas de vidro. Acredita-se que sejam derivados do impacto de meteoritos na crosta terrestre. Há, também, uma terceira categoria, constituída pelas fulguritas, isto é, formações produzidas quando um raio atinge um local da superfície da Terra que contenha sílica[14].

Até mesmo a origem da própria palavra "química" está envolta em uma série de

disputas etimológicas, com as quais o vidro produzido no Egito apresenta interconexão. Nesse sentido, existem duas correntes principais sobre a origem da palavra "química". A primeira defende que a palavra provém do egípcio kmt, relacionado ao pigmento negro usado como pintura dos olhos, uma vez que os egípcios, como muitos povos orientais, não grafavam os sons das vogais ou do termo egípcio para vidro negro, ou seja, "obsidiana", que corresponde à Aner chem, ou pedra negra. A segunda defende que se trata de uma derivação do verbo grego chema, relacionado à fusão[14].

De qualquer forma, o vidro se relaciona de modo direto com a etimologia da palavra "química". No entanto, para seu manuseio mais avançado e para o aperfeiçoamento de técnicas, precisou-se compreender características químicas de comportamento e propriedades atômicas. Assim, em termos estruturais, a sílica, ou dióxido de silício, de fórmula mínima SiO2, apresenta átomos de silício que estão no centro de um tetraedro, formando uma estrutura regular polimorfa. Por outro lado, no vidro, tal regularidade observada na sílica abre espaço para uma estrutura irregular, em que regiões microcristalinas formam uma estrutura irregular, de difícil interpretação espacial, em dimensões geométricas do cristal de vidro.

Por essa razão, classifica-se o vidro como um sólido amorfo, sem formar um cristal verdadeiro como a sílica, de tal maneira que diferentes vidros podem apresentar distintos pontos ou faixas de fusão; ao contrário do quartzo, que, como um cristal definido, funde-se a uma temperatura definida[14]. O quartzo é a única forma estável abaixo de 870°C. Entretanto, o vidro, em sua variedade, não forma cristais regulares, mas apresenta uma estrutura irregular que se costuma comparar à estrutura de um líquido super-resfriado com alta viscosidade, que não flui a temperaturas ordinárias.

Assim, em sua constituição, o vidro é formado por átomos de silício, que apresentam número atômico 14, massa atômica de 28,08 u e pertence ao grupo 14 (anteriormente conhecido como família 4A ou Família Carbono) e ao 3º período. Na tabela, é localizado como um semimetal, devido às suas características intermediárias entre metal e ametal, como o estado sólido à temperatura ambiente. Sobre suas propriedades atômicas, o silício apresenta um raio aproximado de 111 picômetros, além de deter 14 elétrons, 14 prótons e 14 nêutrons, no seu isótopo mais abundante, isto é, o Si-28, (92,23%). Para além deste, há o isótopo Si-29 (4,67%) e o Si-30 (3,1%), todos eles naturais e estáveis. O silício é o sétimo elemento mais abundante no universo. No que concerne ao seu comportamento químico, o estado de oxidação mais comum é o +4(Sc4+).

Além disso, o manuseio do silício não se restringe somente à fabricação do vidro, como ocorre nos tubos de fusíveis. Pelo contrário, é aplicado também na formação de materiais cerâmicos, por exemplo, empregados como invólucro, devido ao seu bom isolamento. Existem diversos métodos de obtenção da cerâmica, como: sólido entre pós-reagentes, a deposição química de vapor, o processo sol-gel e a pirólise de polímeros[15]. Apesar disso, este trabalho se restringe à aplicação do silício na estrutura do vidro, por ser o material de revestimento dos fusíveis eletroeletrônicos mais acessíveis no cotidiano popular e técnico.

Nesse movimento, quimicamente, o vidro tem parentesco com outros materiais, como as cerâmicas, entre as quais as faianças; e os esmaltes, como ocorre no caso dos azulejos14. Nesse cenário, é

válido mencionar que os azulejos ou cerâmicas azulejadas começaram a ser produzidos alguns milênios antes da era cristã. Existem muitos relatos provenientes de vários locais do Levante, como na Mesopotâmia ou no Egito. No caso específico da manufatura do vidro, a fonte principal de sílica era a areia ou pedaços de quartzo.

Em torno de 1400 a.C, durante o reinado do faraó Akhenaten, a técnica de manuseio do vidro, bem como os sujeitos que a dominavam, teria migrado para o Egito e, como consequência, tal momento representou um importante marco no desenvolvimento tecnológico dos processos químicos do vidro e, principalmente, da aplicação do silício. Assim como na Mesopotâmia, o vidro egípcio se desenvolveu a partir das artes da faiança e do esmalte. O vidro antigo era geralmente produzido na forma de pasta de vidro, frequentemente colorida pela presença de sais metálicos, o mais comum era o ferro. O vidro soprado foi uma grande conquista, tendo surgido no Oriente Próximo, provavelmente após 300°C.

Na Idade Média, os árabes foram grandes produtores de vidro de excelente qualidade, assim como os vidreiros ocidentais, que criaram obras arquitetônicas com vitrais coloridos nas igrejas ou castelos. Já o século XIX foi marcado pela produção industrial em massa de aparelhos científicos de vidro, e presenciou o aparecimento de inúmeros itens que se tornaram padronizados e corriqueiros nos laboratórios, como béqueres, erlenmeyers, pipetas, buretas e condensadores.

Observa-se, diante disso, como o silício se fez presente nas relações culturais, na produção técnica do homem, especialmente por meio do vidro 14. Esse elemento, embora tenha sido descoberto apenas em 1824 – em sua condição elementar e não mais somente aplicada ou empírica, mas teorizada e catalogada – pelo químico sueco Jöns Jacob Berzelius (1779-1848), já era aplicado e manuseado no cotidiano da humanidade14. Isso porque, antes de Berzelius, Antoine Lavoisier já havia levantado a hipótese de que a sílica era o óxido de um elemento desconhecido. Além disso, seu nome é derivado da palavra sílex (do latim), fazendo referência a um mineral muito duro, utilizado desde a pré-história para fabricação de ferramentas de corte, pontas de flechas e produção de fogo por atrito.

Feitas essas delimitações, cita-se, por fim, que o silício é considerado o segundo elemento mais abundante da crosta terrestre, e também é encontrado no corpo humano. Por exemplo, ao ser absorvido como mineral, o silício atua no fortalecimento ósseo, uma vez que se faz presente em pequenos pedaços dos ossos e tecidos conectivos, como os tendões e ligamentos; contribui para o fortalecimento da pele, cabelo e unhas, bem como para o estímulo do colágeno. A seguir, a tabela 3 descreve as principais características químicas e físicas do silício, para além das já destacadas:

TABELA 3 – Características do silício

Especificações	Valores
Ponto de Ebulição (°C)	2162
Ponto de Fusão (°C)	1414

Configuração Eletrônica	3s23p2
Densidade (g.cm-3)	2,33

Tabela elaborada pela autora para exemplificar as principais variáveis físico-químicas do elemento silício.

4 Considerações finais

Ao longo deste estudo, evidenciaram-se a história e a aplicabilidade da prata, do alumínio e do silício, bem como a forma pela qual esses recursos naturais permanecem em constante tensão, em uma espécie de confluência latente de conflitos geopolíticos e, especialmente, históricos. Assim, a partir do estudo das características químicas desses elementos, sobretudo aquelas relacionadas às suas propriedades atômicas e aos seus comportamentos químicos, tornou-se possível delinear o plano geral de constituição do perfil do fusível como elemento de proteção contra sobrecargas elétricas.

Por exemplo, a partir das propriedades específicas da prata e do alumínio como bons condutores elétricos, foi possível compreender por que esses materiais são utilizados na confecção das fitas condutoras que se rompem quando a corrente elétrica ultrapassa o limite especificado pelo fabricante. Da mesma forma, evidenciou-se o papel do silício na fabricação do vidro e da cerâmica, materiais que apresentam boas propriedades de isolamento elétrico.

Portanto, a partir da análise de variáveis qualitativas e quantitativas desses elementos químicos, evidenciou-se o funcionamento do fusível sob a perspectiva de sua estrutura e de seus arranjos atômicos, bem como a forma pela qual esses materiais são moldados por técnicas de processamento que acompanham o desenvolvimento humano.

Tais conhecimentos não devem ser compreendidos como leis universais e imutáveis, mas como construções científicas continuamente passíveis de questionamentos, aperfeiçoamentos e novas interpretações, em uma dinâmica constante e dialética entre os fenômenos naturais, o saber científico e sua aplicação nos diferentes cenários sociais.

5 Declaração de conflito de interesses

Os autores afirmam não haver conflitos de interesse no desenvolvimento e escrita deste trabalho.

6. Referências

1. Dorigon JA, Almeida LN, Krause MR, Oberziner MBB, Oberziner APB. Projeto interdisciplinar: modelagem matemática da superfície de um fusível diazed. **Novos Saberes**. 2015;2(2):84-90. Disponível em: http://app.catolicasc.org.br/apps/ojs2/ojs2.4.2/index.php/NovosSaberes/article/view/67/50

2. Hewitt PG. **Física conceitual**. Porto Alegre: Bookman; 2015.

3. Bravin HC, Erthal JPC, Campos RG, Potentine FES. Fusíveis e disjuntores: tão presentes e ao mesmo tempo tão mal compreendidos. In: **Atas do IX Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências – IX ENPEC**; 2013 nov 10-14; Águas de Lindóia, SP. 2013. Disponível em: https://abrapec.com/atas_enpec/ixenpec/atas/resumos/R0619-1.pdf

4. Mills CW. **Sobre o artesanato intelectual e outros ensaios**. Rio de

Janeiro: Jorge Zahar; 2009.

5. Severino AJ. **Metodologia do trabalho científico**. São Paulo: Cortez; 2014.
6. Minayo MCS. O desafio da pesquisa social. In: Deslandes SF, Gomes R, Minayo MCS, organizadores. **Pesquisa social: teoria, método e criatividade**. 33a ed. Petrópolis: Vozes; 2013.
7. Gomes R. Análise e interpretação de dados de pesquisa qualitativa. In: Deslandes SF, Gomes R, Minayo MCS, organizadores. **Pesquisa social: teoria, método e criatividade**. 33a ed. Petrópolis: Vozes; 2013.
8. Souza GD, Rodrigues MA, Silva PP, Guerra W. Prata: breve histórico, propriedades e aplicações. **Educación Química**. 2013:14-16. Disponível em: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-893X2013000100003
9. Rodrigues LC. **Considerações iniciais sobre a química e potencialidades medicinais da prata e seus compostos** [Trabalho de Conclusão de Curso]. São Paulo: Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"; 2021. Disponível em: https://educapes.capes.gov.br/bitstream/capes/1000945/2/Transforma%C3%A7%C3%B5es%20na%20Sociedade%20contempor%C3%A2nea.pdf
10. Fanon F. **Os condenados da terra**. Rio de Janeiro: Zahar; 2022.
11. Araujo JVS, Silva RMP, Klumppa RE, Costa I. O processo de anodização do alumínio e suas ligas: uma abordagem histórica e eletroquímica. **Quím Nova**. 2021;44(8):999-1011. doi: 10.21577/0100-4042.20170748.
12. Chang R, Goldsby KA. **Química**. Porto Alegre: AMGH; 2013.
13. Atkins P, Jones L. **Princípios de química: questionando a vida moderna e o meio ambiente**. Porto Alegre: Bookman; 2012.
14. Silva WT, Filgueiras CAL. O vidro e sua importância na vida e na química. **Quím Nova**. 2023;46(5):491-501. Disponível em: https://www.scielo.br/j/qn/a/xsNGNZ7RcFzMwdTQh7xDjDh/?format=html&lang=pt
15. Schiavon MA, Jefferson LF, Mirabbos H, Inez VPY. Vidros de oxicarbeto de silício obtidos a partir de polissiloxanos. **Quím Nova**. 2015;38(7):972-979. Disponível em: https://www.scielo.br/j/qn/a/zMj7qyQyJXcsRSQZF5WnXVD/