

Aqui tem Química XIV: O Espetáculo dos Fogos de Artifícios

There is Chemistry Here: Part XIV. The Fireworks Show

Acácio Silva de Souza,^{*a}  Patricia Garcia Ferreira,^a  Vitor Francisco Ferreira^{*a} 

^a Universidade Federal Fluminense, Faculdade de Farmácia, Departamento de Tecnologia Farmacêutica, Laboratório de Inovação em Química e Tecnologia Farmacêutica, CEP 24241-000, Niterói-RJ, Brasil

E-mail: vitorferreira@id.uff.br
acaciosouza@id.uff.br

Submissão: 16 de Junho de 2025

Aceite: 22 de Dezembro de 2025

Publicado online: 19 de Janeiro de 2026

Fireworks have enchanted people around the world for hundreds of years, being a striking presence in celebrations of different cultures since the invention of gunpowder. The sound and vibrant colors that explode in the sky make for true visual spectacles, considered by many to be ephemeral works of art. However, most people who enjoy these pyrotechnic performances are unaware of the chemical principles that make this spectacle possible. In addition to beauty, there are also concerns about the safety, health effects, and environmental issues associated with the use of these artifacts, leading to initiatives that produce friendlier artifacts. Is it possible to celebrate with beauty and emotion, but also with awareness and responsibility? This article from the series “Here we have chemistry” proposes a reflection on the chemical, social and environmental aspects related to the use of fireworks.

Keywords: Fireworks; environmental pollution; silent fireworks; burn accident.

1. Introdução

Este artigo integra a série “Aqui Tem Química” e convida à reflexão sobre os múltiplos aspectos envolvidos no uso de fogos de artifício. Além de destacar sua fascinante base química e o seu valor cultural, o texto aborda os impactos sobre a saúde pública, o aumento de hospitalizações causadas por acidentes e os efeitos ambientais resultantes da queima desses artefatos, que afetam solo, água e ar. Compreender a ciência por trás desse espetáculo é o primeiro passo para promover celebrações mais conscientes e seguras, nas quais a alegria coletiva caminha lado a lado com o respeito à saúde, ao bem-estar de todos e à preservação ambiental. A Figura 1 sintetiza as principais preocupações discutidas neste artigo.



Figura 1. Preocupações com os fogos de artifícios em eventos culturais

Ao longo da história, os fogos de artifício e outros artefatos pirotécnicos foram usados por diferentes povos em momentos de celebração. No início, apareciam em rituais religiosos, eventos

cívicos e festas populares, encantando com luzes, cores e sons. Com o tempo, porém, essas mesmas tecnologias passaram também a ter fins bélicos.¹ Um dos registros mais antigos de arma incendiária é o “fogo grego”, utilizado pelo Império Bizantino a partir do século VII. A receita exata dessa substância continua desconhecida, mas pesquisas indicam que ela provavelmente continha petróleo bruto, resina de pinheiro, enxofre, cal virgem, nitrato de potássio e carvão em pó.² Curiosamente, muitos desses componentes são exatamente os que deram origem à pólvora.

A versão mais aceita aponta que a pólvora surgiu no século VIII d.C., na China, preparada por alquimistas, porém não se sabe ao certo quem misturou esses ingredientes pela primeira vez, nem com qual propósito. Desde então, ela passou a ser usada em festividades e apresentações pirotécnicas, espalhando-se pelo mundo como símbolo de alegria, religiosidade e celebração coletiva. Com a evolução da tecnologia, surgiram artefatos cada vez mais variados: dos pequenos estalinhos de salão aos potentes rojões de alto alcance. Porém, a história dos fogos de artifício guarda um paradoxo. Ao mesmo tempo em que encantam multidões, também carregam um potencial destrutivo que os ligou às guerras e a acidentes fatais. Muitas pessoas perderam a vida não só em campos de batalha, mas também nas fábricas que produziam esses explosivos.¹ Essa trajetória revela como a mesma invenção pode transitar do lúdico ao letal, não pela química em si, mas pela intenção e pelo contexto social de seu uso.³

Por trás do fascínio visual, há uma complexa interseção entre ciência, cultura e impactos que merece ser aprofundada e socializada entre estudantes e cidadãos. O encanto coletivo que os fogos de artifício exercem em eventos como Réveillon, festas juninas e celebrações esportivas, embora culturalmente enraizado, não deve obscurecer os debates sobre saúde pública, impactos ambientais e bem-estar social. Em um cenário em que se intensificam discussões sobre sustentabilidade e inclusão, torna-se essencial reavaliar as manifestações pirotécnicas sob um olhar crítico e interdisciplinar, um olhar que considere não apenas sua função estética, mas também suas implicações éticas, ambientais e sociais.⁴

2. A Química da Polvora

A ciência por trás dos fogos de artifício tem sido abordada em muitas escolas como forma de tornar o estudo de reações químicas mais lúdico. Como esses artefatos são projetados para produzir cores, luz e som, por meio de reações controladas, eles se tornam excelentes temas geradores para explorar conteúdos como reações redox, combustão e produção de cores nas chamas. Experimentos simples e interativos relacionados à pirotecnia funcionam como ferramentas didáticas que tornam o aprendizado mais envolvente, prático e memorável.⁵

O principal componente dos fogos de artifício é a

pólvora, mas esses artefatos evoluíram e se diversificaram em cores, formatos e finalidades, revelando avanços na engenharia pirotécnica, bem como a necessidade de protocolos rigorosos de segurança para proteger pessoas, animais (como cavalos⁶ e aves⁷) e o meio ambiente. A composição dos fogos é um exemplo marcante de aplicação integrada de química e física em um contexto artístico e cultural.

A pólvora, ou pólvora negra, é formada por três substâncias que, na antiguidade, eram facilmente encontradas na natureza: nitrato de potássio ou salitre (KNO_3), carvão (C) e enxofre (S). As proporções dessa mistura sólida foram mantidas quase inalteradas ao longo de muitos anos, variando apenas dentro de faixas estreitas: cerca de 75% a 78% de nitrato de potássio (KNO_3), 12% a 17% de carvão e 10% a 6% de enxofre, mas o nitrato de potássio permanece sempre como componente majoritário, pois fornece o oxigênio necessário para a combustão.⁸

Historicamente, o salitre foi frequentemente confundido com outros nitratos. Na Índia, na China e no Oriente Médio, ele era obtido de eflorações brancas encontradas em paredes de cavernas, solos secos e estábulos. O carvão utilizado era o carvão vegetal, conhecido há milênios como fonte de combustível. Ao longo do tempo, diferentes tipos de carvão vegetal e misturas com outros materiais foram testados para melhorar a eficiência da pólvora. Já o carvão mineral era pouco conhecido, tornando-se amplamente utilizado apenas após a Primeira Revolução Industrial. O enxofre, por sua vez, exerce um papel essencial como combustível e facilitador da combustão. Sua presença acelera a queima da mistura, tornando a reação mais rápida e eficiente, além de facilitar a ignição, pois reduz a necessidade de altas temperaturas para iniciar a combustão.⁹

A estequiometria exata para a reação de combustão da pólvora pode variar dependendo da sua composição e de condições específicas, mas para uma mistura típica de pólvora negra contendo 77% de KNO_3 , 17% de carvão e 6% de enxofre a equação da reação de combustão envolvida, respeitando a estequiometria, está representada na Figura 2. A primeira etapa da combustão da pólvora é iniciada pelo calor fornecido por um disparador causando a decomposição do KNO_3 levando à liberação de oxigênio, o que acelera a combustão dos componentes restantes, com mais liberação de calor que acelera a queima rápida e a combustão completa.¹⁰ A análise termodinâmica da reação de explosão da pólvora negra indica que a variação de entalpia de reação (ΔH) é de aproximadamente $-1688,2 \text{ kJ mol}^{-1}$ (à temperatura de 3070 K), indicando que o processo é altamente exotérmico, levando a altas temperaturas e à expansão rápida de gases.¹⁰ Em frações de segundo, grandes volumes de gases se formam sob altas temperaturas e pressões, deslocando violentamente o ar ao redor e produzindo a explosão, a liberação de força cinética usada para impulsionar projéteis em armas de fogo e a formação de partículas finamente divididas de carbonato de potássio e sulfeto de potássio.¹¹

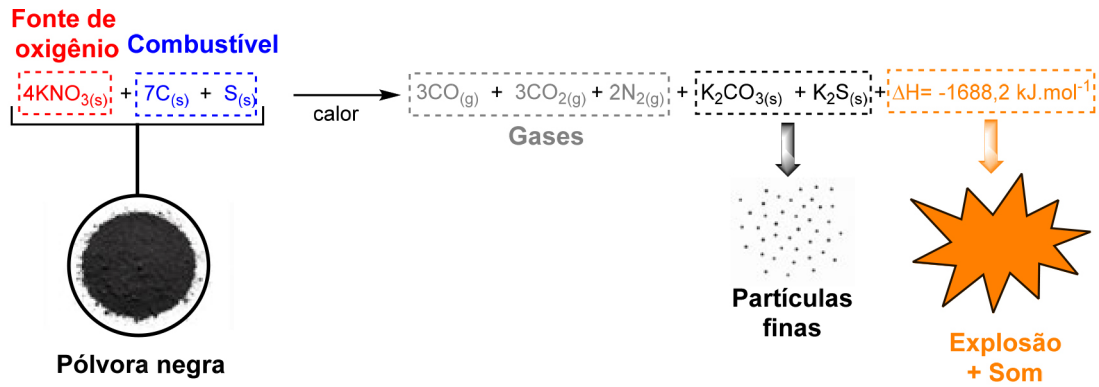


Figura 2. Equação simplificada de combustão da pólvora e seus efeitos

A produção da pólvora é um processo que exige cuidado e precisão, pois envolve etapas críticas de fragmentação, mistura e secagem. Primeiramente, os componentes são triturados e homogêneos em moinhos apropriados, geralmente com a mistura previamente umedecida para reduzir o risco de ignição acidental. Em seguida, o material é cuidadosamente seco, já que a umidade em excesso pode comprometer a reação de combustão. Essa etapa é especialmente crítica porque uma secagem inadequada pode provocar acidentes durante o manuseio, resultando em reações perigosas e não controladas.¹²

Um fator determinante no desempenho da pólvora é sua granulometria, ou seja, o tamanho das partículas. Tanto a ignição quanto a velocidade de queima dependem não apenas da composição química, mas também da distribuição granulométrica. Em explosivos e fogos de artifício, esse parâmetro é rigorosamente controlado para garantir características específicas de combustão, como velocidade, intensidade e duração dos efeitos pirotécnicos. Partículas mais finas, por exemplo, possuem maior área de contato com o oxigênio e queimam mais rapidamente e de forma mais intensa do que misturas com partículas maiores.¹²

A ignição da pólvora ocorre quando uma fonte de calor, fagulha ou faísca fornece energia suficiente para quebrar ligações químicas e iniciar a decomposição térmica. Uma chama ou faísca contínua na extremidade da carga mantém a reação até que todo o material seja consumido ou que a pressão atinja um limite de segurança. As principais fontes de ignição incluem fósforo, descargas elétricas, chamas

diretas, fricção ou impacto capazes de gerar calor suficiente para iniciar a combustão.¹²

3. Misturas Pirotécnicas que Produzem as Cores

As cores vibrantes, do vermelho intenso ao azul profundo, surgem da excitação de elétrons de átomos de metais específicos, que emitem luz ao retornar ao estado fundamental após serem aquecidos, onde a pólvora fornece o calor necessário para que esses sais absorvam energia. O modelo atômico proposto por Niels Bohr, em 1913, é fundamental para explicar a origem das cores observadas na queima de fogos de artifício. Segundo esse modelo, os átomos possuem elétrons distribuídos em níveis de energia quantizados, que orbitam o núcleo sem assumir valores intermediários, como ilustrado na Figura 3. Nos fogos de artifício, os sais atuam como fontes de átomos metálicos responsáveis pela emissão de luz e somente os cátions metálicos produzem a cor, pois são eles que realizam transições eletrônicas capazes de emitir luz visível durante a combustão. Já os ânions não participam desse processo luminoso, razão pela qual diferentes sais de um mesmo metal como nitratos, cloratos ou carbonatos geram a mesma cor.¹⁰ Esses sais metálicos são incorporados a misturas pirotécnicas cuidadosamente formuladas e distribuídas em camadas, de modo a criar sequências visuais sincronizadas.

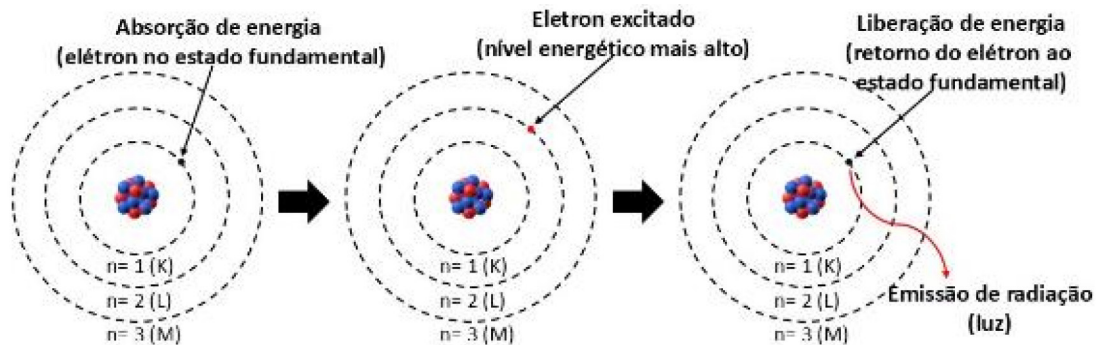


Figura 3. A Química por trás das cores dos fogos de artifício

O metal presente no sal é o que determina a cor emitida, porém nem todos os sais servem para fins pirotécnicos. Alguns, por exemplo, são higroscópicos, absorvem umidade do ar e tornam a mistura úmida, o que dificulta sua queima.¹⁰ Cada elemento metálico possui níveis energéticos próprios entre os estados fundamental e excitado, emitindo fótons com comprimentos de onda específicos que correspondem a cores distintas. Por exemplo, o magnésio (Mg) produz uma luz branca intensa, enquanto o sódio (Na) gera luz amarela. A Figura 4 apresenta alguns dos principais elementos metálicos utilizados em fogos de artifício e as cores que produzem. Além disso, misturar sais de diferentes metais permite obter novas tonalidades, ampliando o espetáculo visual.¹⁰

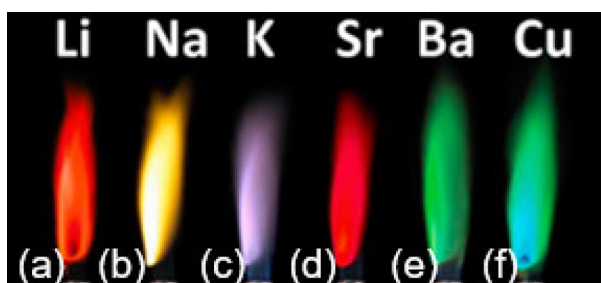


Figura 4. Elementos metálicos, suas cores e suas formulações (sais) usadas em fogos de artifício: a) Li (Li_2CO_3 , LiCl); b) Na (NaCl , NaNO_3); c) K (KCl e KNO_3); d) Sr (SrCl_2 , SrCO_3); e) Ba (BaCl_2 , $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$); f) Cu (CuCl_2 , CuO)

Dentro do corpo do foguete, os artefatos pirotécnicos contêm pequenas esferas chamadas “estrelas”, responsáveis pelas cores exibidas no céu. Cada estrela armazena os pós metálicos colorantes e é revestida com pólvora, que facilita sua ignição. Para manter os componentes unidos, utiliza-se um aglutinante que também diminui a sensibilidade ao choque e ao impacto. Esse aglutinante costuma ser um composto orgânico, como a dextrina, um polissacarídeo barato e abundante, que ainda atua como combustível adicional.¹⁰

O resultado é uma verdadeira tela de luz desenhada no céu, em que ciência, arte e emoção se entrelaçam por breves instantes para celebrar e maravilhar o público.

4. Efeitos Da Poluição Sonora Causada Pelos Dos Fogos De Artifícios

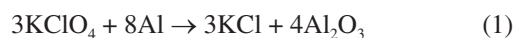
Ainda que sejam responsáveis por lindos efeitos, o deslumbre visual proporcionado pelos fogos de artifício não pode mais ser encarado unicamente como uma expressão artística isenta de consequências, pois diversos problemas estão associados à essa prática, destacando-se dois tipos principais de poluição causados pelos artefatos pirotécnicos: a poluição sonora e a atmosférica.¹³ Nos últimos anos, tem-se observado um aumento na conscientização acerca dos efeitos colaterais decorrentes do uso indiscriminado desses artefatos; contudo, essa atenção tem se concentrado

predominantemente nos impactos relacionados à poluição sonora.

Um dos aspectos mais discutidos é o impacto da poluição sonora, causada por atividades humanas, nas funções cerebrais de diversos animais, interferindo em funções como alimentação, movimentação, reprodução e cuidado dos filhotes. O som das explosões, que para muitos é sinônimo de celebração, é uma fonte de sofrimento para animais domésticos e silvestres, que possuem uma sensibilidade auditiva muito maior do que a dos humanos.¹⁴ Em geral, os cães têm maior sensibilidade ao som do que os humanos, e os gatos têm maior sensibilidade do que os cães.¹⁵ Além disso, crianças pequenas, idosos e pessoas com transtornos do espectro autista também podem sofrer crises de ansiedade, desorientação e pânico diante do excesso de ruído.¹⁶ O som resultante da explosão é uma onda de pressão que se propaga pelo ar em forma de ondas longitudinalmente, com níveis de pressão que podem ser medidos em decibéis. Estas ondas de pressão podem causar ruído de intensidade variável dependendo do tipo, tamanho e configuração do fogo de artifício, assim como das condições ambientais.

Uma alternativa ao impacto sonoro dos fogos de artifício tradicionais, que podem ultrapassar 140 decibéis, são os fogos de baixo ruído projetados para emitir sons de, no máximo, cerca de 80 decibéis. Esses artefatos diferem dos convencionais em diversos aspectos: apresentam queima mais controlada e lenta, utilizam composições que priorizam o efeito visual em vez do sonoro (queimam sem explosões bruscas) e possuem modificações químicas que evitam a liberação súbita de grandes volumes de gases, atenuando o estampido característico.

Do ponto de vista químico, a principal diferença está na redução ou eliminação de misturas chamadas “pó de *flash*”, compostas por perclorato de potássio (KClO_4) e alumínio metálico (Al). Essa mistura extremamente reativa é responsável pelo estampido dos fogos tradicionais, pois promove uma liberação explosiva de energia e gases aquecidos em frações de segundo. A reação simplificada pode ser representada como:



Para os fogos de baixo ruído, essa mistura é substituída ou reduzida, sendo trocada por formulações que queimam mais lentamente, como combinações baseadas apenas em nitrato de potássio, enxofre e carvão. Assim, o controle do ruído é alcançado ao reduzir misturas altamente reativas, como o “pó de *flash*”, substituindo-as por composições que queimam lentamente. Essas modificações diminuem a liberação explosiva de gases e, conseqüentemente, o impacto sonoro, sem comprometer os efeitos visuais.^{17,18,19}

Outro aspecto relevante que merece destaque são os frequentes acidentes que ocorrem todos os anos em decorrência da manipulação de materiais altamente perigosos, tanto na fabricação quanto no uso indiscriminado dos fogos de artifício.¹⁷ É preciso muito conhecimento

técnico e cautela ao manusear as misturas pirotécnicas e produzir os artefatos. A produção amadora desses artefatos deve ser veementemente desestimulada e, idealmente, proibida devido aos elevados riscos de explosões acidentais, especialmente em ambientes sem controle técnico e sem equipamentos de proteção adequados. Entre os acidentes mais comuns estão as lesões graves nos braços, mãos e olhos, muitas vezes provocadas por explosões prematuras. Traumas oculares, como queimaduras na córnea, lacerações e perda do globo ocular, têm ocorrido com frequência, resultando em sequelas visuais permanentes, inclusive cegueira em casos mais severos.^{17,20}

É importante ressaltar a importância de políticas públicas e campanhas de saúde para prevenir esses acidentes graves, que estão se tornando um problema de saúde pública, especialmente quando envolvem os fogos mais potentes.²⁰ Os riscos são agravados pela ausência de educação adequada sobre segurança, reforçando a importância de treinamento, planejamento cuidadoso, e aplicação de medidas de segurança como distanciamento, uso de equipamento de proteção e inspeção adequada dos dispositivos antes do uso.

No estudo conduzido por Sandvall *et al.*, que analisou casos atendidos em hospitais, foi demonstrada uma associação direta entre o tipo de fogo de artifício utilizado, a gravidade das lesões e seu padrão de ocorrência. As conchas e as bombas de morteiro (Figura 5), por exemplo, estiveram relacionadas a ferimentos mais severos. As conchas são artefatos esféricos ou cilíndricos lançados ao céu por um tubo pressurizado e que explodem em grande altitude, liberando fragmentos e múltiplas cargas luminosas. Já as bombas de morteiro consistem em cargas explosivas maiores, disparadas por meio de um tubo rígido semelhante a um pequeno canhão, produzindo explosões de alta intensidade. Ambos os dispositivos podem causar danos graves quando manipulados inadequadamente ou quando ocorrem falhas de funcionamento, pois concentram grande quantidade de energia explosiva em um único disparo. Assim, foram associados a ferimentos que frequentemente envolvem rosto, mãos e cabeça, regiões particularmente vulneráveis durante acidentes com esses artefatos. O estudo também mostrou que uma parcela significativa das lesões resultou em incapacidades permanentes, afetando diretamente a qualidade de vida das vítimas.²¹

5. Poluição Atmosférica Causada pelos Fogos de Artíficos

Paralelamente aos efeitos nocivos causados pelo barulho das explosões, há ainda um impacto ambiental relevante quanto aos fogos de artifício, embora menos perceptível: a poluição atmosférica. A combustão dos componentes presentes nos fogos de artifício libera uma variedade de compostos químicos poluentes e partículas em suspensão, incluindo gases como dióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO_x) e dióxido de enxofre (SO_2), bem como partículas sólidas, como poeira e fuligem. Além disso, são emitidos compostos contendo metais pesados utilizados para produzir efeitos cromáticos, tais como cobalto (Co), cobre (Cu), estrôncio (Sr) e chumbo (Pb), os quais podem liberar partículas tóxicas na atmosfera.

Em áreas urbanas, especialmente em grandes metrópoles já caracterizadas por elevados índices de poluição do ar, essa liberação adicional de substâncias potencialmente nocivas pode agravar quadros respiratórios e contribuir para a deterioração da qualidade ambiental. Ademais, elementos como chumbo, cobre e bário, ao se depositarem no solo e nos corpos d'água podem provocar impactos negativos nos ecossistemas locais, comprometendo a saúde de organismos e a qualidade dos recursos naturais, especialmente os recursos hídricos.

Diversos estudos sobre a qualidade do ar após a queima de fogos de artifício, em eventos tradicionais em diferentes lugares do mundo, vêm sendo relatados na literatura científica há algum tempo.²² Essas pesquisas identificaram a presença de metais como alumínio (Al), manganês (Mn), cádmio (Cd), magnésio (Mg), crômio (Cr) e outros elementos metálicos tóxicos tanto em partículas suspensas no ar quanto em amostras biológicas de indivíduos expostos, como sangue e secreções respiratórias. Esses achados indicam a relação direta entre a queima de fogos e a liberação de metais associados às substâncias químicas utilizadas na sua fabricação.²⁰

Um exemplo emblemático ocorre durante as festividades do Dia da Independência nos Estados Unidos. Os níveis de material particulado no ar aumentam significativamente, especialmente entre 21 h e 22 h, coincidente com os shows pirotécnicos. Em média, observa-se um aumento de aproximadamente 42% na concentração de partículas finas

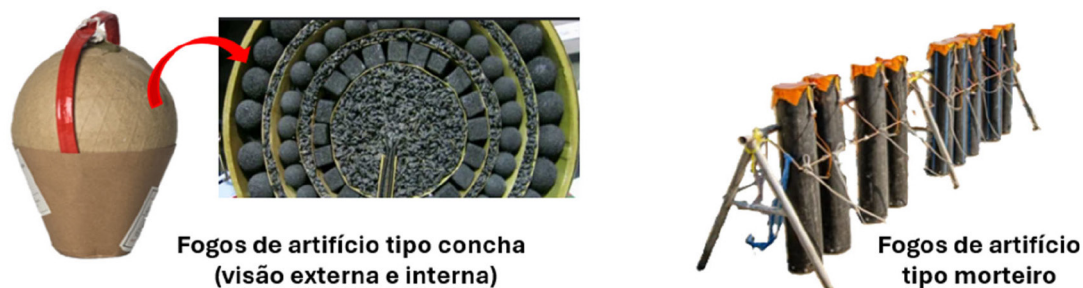


Figura 5: Fogos de artifício tipo concha e tipo bombas de morteiro

nas 24 horas desse dia, em comparação com dias de controle, o que evidencia os impactos diretos desses eventos sobre a qualidade do ar e a saúde respiratória da população.²³

A água também é significativamente impactada em locais próximos à queima de fogos de artifício durante grandes festividades, seja por resíduos metálicos, seja por resíduos de outros componentes dos artefatos. As partículas de microplásticos, por exemplo, já se encontram amplamente distribuídas em ecossistemas aquáticos ao redor do mundo, sendo atualmente consideradas poluentes emergentes, cujos potenciais riscos à saúde humana e ambiental vêm sendo objeto de avaliação científica.²³ Estudos indicam que, após seis horas da queima de fogos de artifício realizada durante as celebrações de Ano Novo em Westminster, foi observado um aumento significativo na concentração de microplásticos na água. As fibras de microplásticos mais frequentemente identificadas nesse período correspondiam a polímeros como policloropreno (um tipo de borracha sintética) e cloreto de polivinila (PVC), evidenciando a contribuição desses eventos para a poluição aquática.²⁴

Gases poluentes como dióxido de enxofre (SO₂) e dióxido de nitrogênio (NO₂), além de íons, metais e carbono negro, presentes nas partículas, aumentam bastantes durante os festivais. Os níveis desses poluentes, principalmente partículas finas carregadas de metais, ácidos e compostos inorgânicos, aumentaram mais de cinco vezes em comparação com dias normais.²⁵

Outras substâncias altamente nocivas à saúde podem ser liberadas para a atmosfera durante o uso de fogos de artifício, entre elas as dioxinas policloradas (PCDDs) (1) e os furanos policlorados (PCDFs) (2) (Figura 6). Esses compostos não desempenham função pirotécnica, ou seja, não são adicionados para produzir cor, calor ou brilho. Na verdade, são subprodutos indesejados, formados durante a combustão de materiais que contêm cloro presentes na formulação ou no revestimento de artefatos pirotécnicos. A formação dessas substâncias tóxicas pode ocorrer, por exemplo, durante a queima de plásticos clorados usados em invólucros, estabilizantes e componentes externos dos fogos, ou ainda a partir da combustão de aditivos orgânicos policlorados utilizados para intensificar o brilho, como o hexaclorobenzeno (3). Assim, as dioxinas e furanos (PCDDs e PCDFs) atuam nos fogos de artifício não como reagentes úteis, mas como contaminantes perigosos gerados de maneira não intencional, contribuindo significativamente para a poluição atmosférica.²⁵

A combustão dos materiais nesses artefatos pode emitir quantidades significativas dessas substâncias extremamente tóxicas, que apresentam alta persistência no meio ambiente e bioacumulação nos organismos vivos. Mesmo as altas temperaturas geradas durante a explosão não impedem completamente sua formação, pois dioxinas e furanos podem se recombinar durante o resfriamento dos gases da combustão, permanecendo como poluentes altamente estáveis. Como consequência, essas substâncias podem desencadear sérios problemas de saúde, incluindo

câncer, distúrbios imunológicos, danos ao sistema nervoso, disfunções hormonais e problemas reprodutivos, afetando tanto humanos quanto outras espécies. Dessa forma, esse tipo de poluição química atribuída aos fogos de artifício representa uma preocupação relevante e ainda pouco explorada no debate público.²⁵

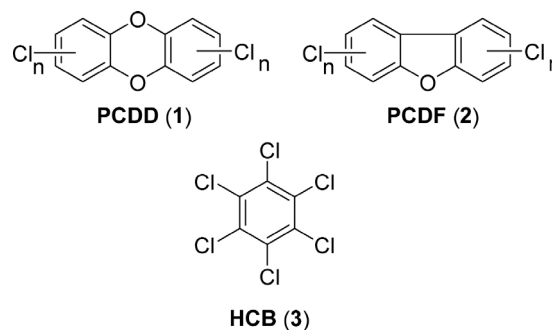


Figura 6. Estrutura das dioxinas policloradas e furanos policlorados

6. Inovação Tecnológica E Práticas Mais Sustentáveis

Diante dos desafios ambientais e sociais impostos pelo uso tradicional dos fogos de artifício, surge uma questão fundamental: como conciliar a beleza e a tradição pirotécnica com a responsabilidade ambiental e o bem-estar coletivo? A resposta passa pela inovação tecnológica e pela adoção de alternativas mais seguras e sustentáveis.

A sociedade atual clama por soluções mais conscientes e, atualmente, já existem no mercado os chamados “fogos ecológicos”, que se destacam por serem mais silenciosos e menos poluentes. Esses artefatos priorizam os efeitos visuais e reduzem significativamente o uso de metais pesados e agentes oxidantes tóxicos, contribuindo para minimizar impactos sobre a saúde humana, os animais e o meio ambiente. Como reflexo dessa tendência, vários estados e municípios brasileiros já implementaram legislações locais que restringem o uso de fogos convencionais, incentivando o uso de alternativas menos agressivas.

A diferença entre os fogos tradicionais e os fogos ecológicos reside principalmente em sua composição química e impacto ambiental. Os tradicionais utilizam:

- Percloratos como oxidantes,
- Metais pesados (como bário, estrôncio, chumbo e cobre) para gerar cor,
- Enxofre, carvão e derivados de petróleo como combustíveis e aglutinantes.

Essa combinação libera grandes quantidades de material particulado, gases tóxicos e resíduos não biodegradáveis, comprometendo a qualidade do ar, da água e do solo. Já os fogos ecológicos empregam:

- Oxidantes à base de nitrogênio, como derivados triazólicos e tetrazólicos, que não liberam percloratos;
- Corantes alternativos, como vermelhos livres de estrôncio;

- Invólucros biodegradáveis, reduzindo o lixo gerado;
- Formulações ajustadas, que proporcionam uma queima mais lenta e controlada, diminuindo significativamente o impacto sonoro — ainda que não o eliminem totalmente.

Assim, é possível manter a beleza e o brilho dos espetáculos pirotécnicos, mas com menor impacto ambiental e mais respeito ao bem-estar das pessoas, dos animais e do planeta.

7. Legislações e Propostas sobre Fogos de Artíficos no Brasil

No Brasil, não há uma legislação federal absoluta que proíba o uso de fogos de artifício. Diversas normas federais, estaduais e municipais regulam, restringem ou proíbem o seu uso, especialmente em relação aos fogos que causam poluição sonora. Neste assunto, pode-se usar também as normas técnicas e a legislação ambiental para restringir ou punir o uso inadequado de fogos de artifícios.

Alguns municípios brasileiros já avançaram na regulamentação do uso de fogos de artifício com estampido. Em Niterói e Volta Redonda, por exemplo, existem leis municipais que restringem ou proíbem o uso desses artefatos sonoros.^{26,27} No âmbito estadual, tramita na Assembleia Legislativa do Estado do Rio de Janeiro o Projeto de Lei nº 5.234/2021, que visa regulamentar o tema em todo o território estadual, buscando ampliar a proteção ao meio ambiente e ao bem-estar da população. Já no Município de São Paulo, vigora a Lei Municipal nº 17.452/2020, que proíbe o uso de fogos de artifício com estampido, autorizando apenas aqueles que produzem efeitos visuais com baixo ruído, como forma de reduzir impactos negativos sobre pessoas sensíveis ao som e sobre os animais.

No Estado de São Paulo, a Assembleia Legislativa aprovou, em 2021, a Lei nº 17.389/2021, que estabelece a proibição da queima, soltura, comercialização, armazenamento e transporte de fogos de artifício de estampido, bem como de quaisquer artefatos pirotécnicos que produzam efeitos sonoros ruidosos em todo o território estadual. Contudo, as expressões “comercialização”, “armazenamento” e “transporte”, constantes do caput do artigo 1º da referida norma, tiveram sua eficácia suspensa, por medida cautelar, pelo Tribunal de Justiça do Estado de São Paulo, nos autos da Ação Direta de Inconstitucionalidade (ADI) nº 2228469-09.2021.8.26.0000.²⁸

Em 2018, foi apresentado na Assembleia do Estado do Rio de Janeiro o Projeto de Lei Nº 3892/2018 que proíbe a utilização de fogos de artifício que provoquem poluição sonora, como estouros e estampidos, superiores a 70 decibéis, em áreas públicas e em eventos com fins lucrativos realizados em áreas privadas, abrangendo tanto recintos fechados quanto ambientes abertos.

No âmbito federal, existem diversos projetos de lei em tramitação no Congresso Nacional que propõem a proibição ou restrição do uso de fogos de artifício com estampido, como o PL 6881/2017 e o PL 5/2022, aprovado pela Comissão de Constituição e Justiça (CCJ) da Câmara dos Deputados em maio de 2025, que proíbe fogos acima de 70 decibéis, mas ainda não convertido em lei federal. Esses PL estabelecem multas para pessoas físicas e jurídicas que fabriquem ou comercializem tais produtos.²⁹

8. Considerações Finais

Os festivais comemorativos que utilizam fogos de artifício têm como objetivo encantar o público, criando eventos que permanecem marcados na memória coletiva. Diversos países celebram essas festividades há centenas de anos. A invenção da pólvora foi o ponto de partida para o desenvolvimento dos fogos de artifício, bem como para a descoberta de que determinados sais poderiam conferir colorações específicas aos espetáculos pirotécnicos. Mesmo sem o pleno entendimento da química envolvida nesses artefatos, avanços significativos foram alcançados, permitindo a evolução das técnicas até os dias atuais. As cores lançadas ao ar são frequentemente consideradas verdadeiras obras de arte. No entanto, há severos problemas que precisam ser enfrentados, como a poluição sonora (sons de elevados decibéis), a contaminação do solo, da água e do ar, além da geração de resíduos não recicláveis resultantes desses artefatos. A emissão de partículas metálicas durante a queima de fogos de artifício, especialmente em cidades que já apresentam altos índices de poluição decorrentes de outros processos, constitui um agravante adicional, com efeitos deletérios para o meio ambiente. Ademais, os acidentes provocados por esses artefatos, a poluição sonora e os impactos na saúde humana e animal têm sido cada vez mais reconhecidos como questões de saúde pública. Nesse contexto, os fogos de artifício silenciosos surgem como uma alternativa sensível e inclusiva às tradicionais explosões sonoras, proporcionando uma experiência visual igualmente encantadora, mas sem os efeitos colaterais perturbadores.

Afinal, a tradição não precisa ser abandonada, mas sim reinventada. A química, quando aliada à tecnologia e à ética, pode transformar práticas culturais, promovendo festas mais seguras, sustentáveis e acolhedoras para todos.

Agradecimentos

Agradecemos as bolsas concedidas pela FAPERJ CNE E-26/202.800/2017, CNE E-26/200.911/2021, CNPq bolsa 1A 301873/2019-4 e os projetos FAPERJ sob o número E-26/010.101106/2018, Pensa Rio E-26/010/00168/2015, SEI-260003/001178/2020 (temático).

Referências Bibliográficas

- Sítio da Superinteressante. Disponível em: <https://super.abril.com.br/historia/os-primeiros-fogos-de-artificio-eram-bolsoes-de-ar-estourando-em-caules-de-bambu/#google_vignette>. Acesso em: 05 junho 2025.
- Partington, J. R.; *A History of Greek Fire and Gunpowder*, Cambridge University Press: Cambridge, 1960.
- Khan, I. A.; Coming of Gunpowder to the Islamic World and North India: Spotlight on the Role of the Mongols. *Journal of Asian History* **1996**, *30*, 41. [Crossref]
- Freitas, T. V.; *Trabalho de Conclusão de Curso em Ensino de Química*, Universidade de Brasília, 2012. [Link]
- Steinhauser, G.; Klapotke, T. M.; Using the Chemistry of Fireworks To Engage Students in Learning Basic Chemical Principles: A Lesson in Eco-Friendly Pyrotechnics. *Journal of Chemical Education* **2010**, *87*, 150. [Crossref]
- Gronqvist, G.; Rogers, C.; Gee, E.; The Management of Horses during Fireworks in New Zealand. *Animals* **2016**, *6*, 20. [Crossref]
- Bernat-Ponce, E.; Gil-Delgado, J. A.; López-Iborra, G. M.; Recreational noise pollution of traditional festivals reduces the juvenile productivity of an avian urban bioindicator. *Environmental Pollution* **2021**, *286*, 117247. [Crossref]
- Argentiére, R.; *Novíssimo Receituário Industrial*, 2a ed., Ícone: São Paulo, 1986.
- Smith, G. Medieval Gunpowder Chemistry: A Commentary on the Firework Book. *International Committee for the History of Technology* **2015**, *21*, 147. [Crossref]
- Russell, M. S.; *The Chemistry of Fireworks*, The Royal Society of Chemistry: 2002.
- Le Courteur, P.; Burreson, J.; *Os Botões de Napoleão: as 17 moléculas que mudaram a história*, 1a. ed., Zahar: Rio de Janeiro, 2006.
- Naik, V.; Patil, K. C.; High Energy Materials: A Brief History and Chemistry of Fireworks and Rocketry. *Resonance Journal of Science Education* **2015**, *20*, 431. [Crossref]
- Bach, W.; Daniels, A.; Dickinson, L.; Hertlein, F.; Morrows, J.; Margolis, S.; Dinh, V. D.; Fireworks pollution and health. *International Journal of Environmental Studies* **1975**, *7*, 183. [Crossref]
- Arcangeli, G.; Lulli, L. G.; Traversini, V.; De Sio, S.; Cannizzaro, E.; Galea, R.P.; Mucci, N.; Neurobehavioral Alterations from Noise Exposure in Animals: A Systematic Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health* **2022**, *29*, 591. [Crossref]
- Valentinuzzi, M. E.; Fireworks, Autism, and Animals: What \ Fun\ Noises Do to Sensitive Humans and Our Beloved Pets [Retrospectroscope]. *IEEE Pulse* **2018**, *9*, 37. [Crossref]
- Soares, J.; Montenegro, A. C. A.; Souza, W. S.; Medina, F. L.; Fernandes, O. L. C.; Santos, G. P. C.; Poluição Sonora em Crianças e Adolescentes com transtorno do Espectro Autista. *Ciências da Saúde* **2023**. [Crossref]
- Winicki, N. M.; Waldrop, I.; Orozco Jr; J. V.; Novak, D.; Sheets, N. W.; The epidemiology of firework-related injuries in the US, 2012-2022. *Injury Epidemiology* **2023**, *10*, 32. [Crossref]
- Bateman, P. W.; Gilson, L. N.; Bradshaw, P.; Not just a flash in the pan: short and long term impacts of fireworks on the environment. *Pacific Conservation Biology* **2023**, *29*, 396. [Crossref]
- Shi, Y. Zhang, N.; Gao, J.; Li, X.; Cai, Y.; Effect of fireworks display on perchlorate in air aerosols during the Spring Festival. *Atmospheric Environment* **2011**, *45*, 1323. [Crossref]
- Sandvall, B. K.; Jacobson, L.; Miller, E. A.; Dodge, R. E.; Quistberg, D. A.; Rowhani-Rahbar, A.; Vavilala, M.; Friedrich, J. B.; Keys, K. A.; Fireworks type, injury pattern, and permanent impairment following severe fireworks-related injuries. *The American Journal of Emergency Medicine* **2017**, *35*, 1469. [Crossref]
- Devereux, R.; Westhead, E. K.; Jayaratne, R.; Newport, D.; Microplastic abundance in the Thames River during the New Year period. *Marine Pollution Bulletin* **2022**, *177*, 113534. [Crossref]
- a) Che, S.; Jiang, L.; Liu, W.; Song, H.; Fireworks regulation, air pollution, and public health: Evidence from China. *Regional Science and Urban Economics* **2022**, *92*, 103722. [Crossref]. b) Thakur, B.; Chakraborty, S.; Debsarkar, A.; Chakrabarty, S.; Srivastava, R. C.; Air pollution from fireworks during festival of lights (Deepawali) in Howrah, India - a case study. *Atmosfera* **2010**, *23*, 347. [Link] c) Greven, F. E.; Vonk, J. M.; Fischer, P.; Duijim, F.; Vink, N. M.; Brunekreef, B.; Air pollution during New Year's fireworks and daily mortality in the Netherlands. *Scientific Reports* **2019**, *9*, 5735. [Crossref] d) Bach, W.; Daniels, A.; Dickinson, L.; Hertlein, F.; Morrows, J.; Margolis, S.; Dinh, V. D.; Fireworks pollution and health. *International Journal of Environmental Studies* **1975**, *7*, 183. [Crossref] e) Moreno, T.; Querol, X.; Alastuey, A.; Minguillón, M. C.; Pey, J.; Rodriguez, S.; Miró, J. V.; Felis, C.; Gibbons, W.; Recreational atmospheric pollution episodes: Inhalable metalliferous particles from firework displays. *Atmospheric Environment* **2007**, *41*, 913. [Crossref] f) Seidel, D. J.; Birnbaum, A. N.; Effects of Independence Day fireworks on atmospheric concentrations of fine particulate matter in the United States. *Atmospheric Environment* **2015**, *115*, 192. [Crossref] g) Hoyos, C. D.; Herrera-Mejía, L.; Roldán-Henao, N.; Isaza, A.; Effects of fireworks on particulate matter concentration in a narrow valley: the case of the Medellín metropolitan area. *Environmental Monitoring and Assessment* **2020**, *192*, 6. [Crossref] h) Jia, C.; Xue, Z.; Fu, X.; Sultana, F.; Smith, L. J.; Zhang, Y. Li, Y.; Liu, B.; Impacts of Independence Day fireworks on pollution levels of atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in the U.S. *Science of The Total Environment* **2020**, *743*, 140774. [Crossref]
- Li, Y.; Tao, L.; Wang, Q.; Wang, F.; Li, G.; Song, M.; Potential Health Impact of Microplastics: A Review of Environmental Distribution, Human Exposure, and Toxic Effects. *Environment & Health* **2023**, *1*, 249. [Crossref]
- Devereux, R.; Westhead, E. K.; Jayaratne, R.; Newport, D.; Microplastic abundance in the Thames River during the New Year period. *Marine Pollution Bulletin* **2022**, *177*, 113534. [Crossref]

25. Wang, Y.; Zhuang, G.; Xu, C.; An, Z.; The air pollution caused by the burning of fireworks during the Spring Festival in Beijing. *Atmospheric Environment* **2007**, *41*, 417. [Crossref]
26. Leis Municipais. Disponível em: <<https://leismunicipais.com.br/a/rj/n/niteroi/lei-ordinaria/2021/367/3661/lei-ordinaria-n-3661-2021-autoriza-o-poder-executivo-proibir-a-emissao-de-ruídos-sonoros-provenientes-de-escapamento-de-veiculos-motociclisticos-e-automotores-em-geral-fora-das-normas-estabelecidas-nas-legislacoes-em-vigor-e-institui-o-controle-de-poluicao-sonora-veicular-e-da-outras-providencias>>. Acesso em: 05 junho 2025.
27. Câmara Municipal de Volta Redonda. Disponível em: <<https://sapl.voltaredonda.rj.leg.br/media/sapl/public/normajuridica/2020/5775/5696.pdf>>. Acesso em 05 junho 2025.
28. Assembleia Legislativa do Estado de São Paulo. Disponível em: <<https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/2021/lei-17389-28.07.2021.html>>. Acesso em: 26 maio 2025.
29. Senado Notícias. Disponível em: <<https://www12.senado.leg.br/noticias/materias/2024/10/30/ccj-limita-barulho-de-fogos-de-artificio>>. Acesso em 26 maio 2025.