

<https://doi.org/10.56117/ReSBEnQ.2024.v5.e052423>

## **A Química como parte da Cultura: uma reflexão filosófica acerca da imprevisibilidade, da temporalidade e da capilarização socioambiental das entidades químicas**

*Chemistry as part of Culture: a philosophical reflection on the unpredictability,  
temporality and socio-environmental capillarization of chemical entities*

*La química como parte de la Cultura: una reflexión filosófica sobre la  
imprevisibilidad, la temporalidad y la capilarización socioambiental de las  
entidades químicas*

**Luciana Zaterka** ([luciana.zaterka@ufabc.edu.br](mailto:luciana.zaterka@ufabc.edu.br))  
Universidade Federal do Rio de Janeiro  
<https://orcid.org/0000-0002-4933-8534>

**Ronei Mocellin** ([roneimocellin@ufpr.br](mailto:roneimocellin@ufpr.br))  
Universidade Federal do Paraná  
<https://orcid.org/0000-0003-4093-672X>

### **Resumo:**

Neste artigo, propomos uma breve biografia de algumas entidades químicas que causam grande impacto cultural, social e ambiental desde as primeiras décadas do século XX: os CFCs, os plásticos e as anfetaminas. Biografar um material significa fazer convergir elementos da filosofia e da história da química e de sua indústria, com aspectos sociais, históricos, geopolíticos e ambientais, o que permite localizá-lo no contexto cultural em que se apresenta. A partir desses estudos de caso, destacaremos os conceitos epistemológicos de imprevisibilidade, de temporalidade e de uma positividade afetiva demandada pelas sociedades contemporâneas e fornecida pela química de sínteses orgânicas. Apresentamos uma reflexão que se baseia em uma epistemologia não causal em que estão presentes novos elementos, tais como incerteza, contingência, imprevisibilidade, risco, desordem e destruição. Essa reflexão sugere que o ganho de conhecimento deve ser comparado com o aumento do desconhecimento ou com a falta de conhecimento. Tal análise é importante, pois pode auxiliar na ampliação de informações



Este texto é licenciado pela Creative Commons Attribution 4.0 International License.

necessárias tanto para o ensino de química quanto para atingir as demandas de agências internacionais como, por exemplo, a ONU e a UNESCO, de tornar a química um dos eixos para um desenvolvimento social e econômico sustentáveis. Consideramos que além da filosofia da química contribuir para o ensino dessa ciência, ela também possibilita refletir acerca da presença de certas entidades químicas em diferentes contextos, envolvendo desde questões epistêmicas até questões éticas, sociais e ecológicas.

**Palavras-chave:** Filosofia da química. Imprevisibilidade. Temporalidade.

### **Abstract**

In this article, we propose a brief biography of some chemical entities that have caused great cultural, social and environmental impact since the first decades of the 20th century: CFCs, plastics and amphetamines. To describe a material's biography means to bring together elements of the philosophy and history of chemistry and its industry, with social, historical, geopolitical and environmental aspects, which allows it to be located in the cultural context in which it is presented. Based on these case studies, we will highlight the epistemological concepts of unpredictability, temporality and an affective positivity demanded by contemporary societies and provided by organic synthesis chemistry. We present a reflection based on a non-causal epistemology in which new elements are present, such as uncertainty, contingency, unpredictability, risk, disorder and destruction. This reflection suggests that the gain in knowledge should be compared with the increase in ignorance or lack of knowledge. This analysis is important because it can help expand the information needed for teaching chemistry and to achieve the demands of international agencies such as the UN and UNESCO, to make chemistry one of the pillars for sustainable social and economic development. We believe that, in addition to contributing to the teaching of this science, the philosophy of chemistry also enables reflection on the presence of certain chemical entities in different contexts, involving issues ranging from epistemic to ethical, social and ecological issues.

**Keywords:** Philosophy of chemistry. Unpredictability. Temporality.

### **Resumen**

En este artículo proponemos una breve biografía de algunas entidades químicas que han causado un gran impacto cultural, social y ambiental desde las primeras décadas del siglo XX: los CFC, los plásticos y las anfetaminas. Biografiar un material significa reunir elementos de la filosofía y la historia de la química y su industria, con aspectos sociales, históricos, geopolíticos y ambientales, que nos permita situarlo en el contexto cultural en el que se presenta. A partir de estos estudios de caso, resaltaremos los conceptos epistemológicos de imprevisibilidad, temporalidad y positividad afectiva exigidos por las sociedades contemporáneas y proporcionados por la química de las síntesis orgánicas.

Presentamos una reflexión que se sustenta en una epistemología no causal en la que están presentes nuevos elementos, como la incertidumbre, la contingencia, la imprevisibilidad, el riesgo, el desorden y la destrucción. Esta reflexión sugiere que la ganancia de conocimiento debe compararse con el aumento de la ignorancia o la falta de conocimiento. Este análisis es importante porque puede ayudar a ampliar la información necesaria tanto para la enseñanza de la química como para atender las demandas de organismos internacionales como, por ejemplo, la ONU y la UNESCO, de hacer de la química uno de los ejes del desarrollo social y económico sostenible. Consideramos que, además de contribuir a la enseñanza de esta ciencia, la filosofía de la química permite reflexionar sobre la presencia de determinadas entidades químicas en diferentes contextos, implicando desde cuestiones epistémicas hasta cuestiones éticas, sociales y ecológicas.

**Palabras clave:** Filosofía de la química. Imprevisibilidad. Temporalidad.

## Introdução

Nas últimas décadas a comunidade dos químicos, por meio de sociedades institucionais como a IUPAC, busca reabilitar a imagem da química junto à opinião pública. Ao apontar o equívoco na representação da química como a principal responsável pela poluição do planeta, esses pesquisadores defendem que é a química a ciência fundamental para um futuro com desenvolvimento social e econômico sustentáveis. Ademais, o reconhecimento dessa ciência e a necessidade de sua promoção nos âmbitos da educação e da cultura foram celebrados pela UNESCO, que decretou o ano de 2011 como o Ano Internacional da Química. A agenda da UNESCO demandava o aumento da valorização e do entendimento público sobre a química para atender às necessidades do mundo, o estímulo do interesse nos jovens pela química, um maior entusiasmo pelo futuro criativo da química e a celebração do papel das mulheres na química (UNESCO, 2011).

Os químicos fazem uso da demanda social por sustentabilidade ambiental e busca de energias renováveis para defender um locus fundamental para essa ciência. Tanto a Agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável, aprovada pela ONU em 2015, quanto a celebração pela UNESCO do ano 2022 como Ano Internacional das Ciências Básicas para o Desenvolvimento Sustentável, são consideradas pelos químicos como a oportunidade de valorar tanto os aspectos epistêmicos, quanto a presença social dessa ciência, tendo em vista o seu papel central para se atingir os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS/Agenda 2030) (Silva et al., 2022). Um exemplo dessa tendência em associar a química à sustentabilidade está nos próprios títulos dos eventos promovidos pela IUPAC

para os anos 2024/2025, como o “85th Prague Meeting on Macromolecules – Polymers for Sustainable Future” (Praga/República Tcheca), ou o “Chemistry, a lever for sustainable development of African countries” (Dakar/Senegal) (IUPAC, 2024).

No Brasil, a Sociedade Brasileira de Química (SBQ) consagrou em 2024 a 47<sup>a</sup> Reunião anual ao tema da Centralidade da química na educação do cidadão e na inovação científica e tecnológica, com o objetivo de propor contribuições da química para “um mundo mais igualitário e sustentável” (SBQ, 2024). Todas essas promoções institucionais apontam para a importância da educação química, que deveria alfabetizar quimicamente jovens e adultos, a fim de torná-los mais informados e conscientes dos produtos que utilizam cotidianamente. Grandes esforços são empregados para se construir as bases epistêmicas e metodológicas adequadas ao ensino da química. Embora as abordagens e propostas não sejam uniformes, o elemento comum das investigações está no esforço em promover o aprendizado, processo que passa pelo domínio de conceitos, práticas e linguagem específica da química (Erduran, 2001). No Brasil, a comunidade de pesquisadores em ensino de química começou a ser constituída no final dos anos 1970 e atualmente está muito bem estabelecida nos Departamentos de Química e de Educação, sendo representados pela Sociedade Brasileira de Ensino de Química (SBEnq).

Dito isso, seria de se esperar que a nova Base Nacional Comum Curricular (BNCC, 2018) para o Ensino Médio abarcasse as especificidades do conhecimento e ensino químico, promovendo a alfabetização química demandada por Agências de governança internacional e pela comunidade química. A proposta, porém, tem sido criticada por especialistas da área. Uma das críticas vem da SBQ, que publicou um manifesto contrário à atual versão da BNCC, ressaltando o equívoco da junção da química com a biologia e a física em um itinerário formativo das Ciências da Natureza e suas Tecnologias. Isso significa suprimir as distinções epistemológicas e as diferenças históricas na consolidação entre essas ciências. O manifesto também denuncia o descaso dos formuladores dessa política estatal para com os professores e pesquisadores da área e conclui que “no conteúdo de Química, que emerge no texto de maneira esparsa e sem uma lógica coerente em termos de conexões ou relações epistêmicas para sua abordagem, há referências vagas a conceitos sem nenhuma ou pouca relação com as habilidades citadas após as competências específicas” (SBQ, 2021).

Dadas essas demandas da comunidade química por um desenvolvimento sustentável e das necessidades materiais, econômicas e conceituais para o ensino de química, carentes no caso brasileiro, o que teria a filosofia da química a contribuir? Enquanto uma disciplina institucionalmente consolidada, a filosofia da química produz investigações que abrangem desde questões ontológicas, metodológicas e epistêmicas da química até as consequências sociais e ambientais do uso dos produtos de sua indústria. Vale lembrar que a filosofia da química se consolidou, enquanto disciplina acadêmica, nos anos 1990. Os filósofos da química contribuíram enormemente com a pesquisa em ensino de química. Do mesmo modo, as investigações em educação química foram essenciais para a consolidação da filosofia da química. Como os alunos devem aprender os conceitos químicos? Quais estratégias devem ser adotadas no aprendizado da linguagem química? Qual o perfil e a valorização do profissional que tem por tarefa promover essa cultura científica? Os experimentos são indispensáveis no entendimento de conceitos químicos. Mas como organizá-los? Como interligar de modo significativo o ir e vir entre teoria e prática, que caracteriza a ciência química? Quais os instrumentos didáticos mais eficientes nessa tarefa? Mais que um desafio aos profissionais dessa área, essas são questões-chave no processo de construção de sociedades democráticas e uma reflexão filosófica profunda é fundamental nesta tarefa (Neto, 2009; Gois, 2012; Labarca, Bejarano & Eicher, 2013; Ribeiro, 2014; Gois et al., 2019).

Igualmente no que diz respeito aos aspectos éticos e epistemológicos envolvidos na cadeia produtiva da indústria química os filósofos da química fizeram grandes contribuições. Os produtos da química e de sua indústria são comumente apontados como os principais inimigos do ambiente natural, causadores de poluições variadas e cujo tempo de existência pode ser de vários séculos após o seu “lançamento” no mundo, o que expôs a química e os químicos ao julgamento da opinião pública (Schummer et al., 2007). O escopo da ética da química inclui todos os aspectos de valor da atividade química, desde a construção do conhecimento básico, ensino e pesquisa, até o desenvolvimento e aplicações em ambientes acadêmicos, industriais ou governamentais. Para cada atividade, as questões sobre valores, normas, responsabilidade e obrigações devem ser mobilizadas. Quais são, de fato, as consequências mais amplas das atividades dos químicos? Os eventuais riscos estão sendo levados em consideração? O que a comunidade química pode e deve fazer para sair do âmbito da mera normatividade? (Hyle, 7, 2, 2001; 8, 1, 2002).

É nessa perspectiva que propomos uma reflexão que converge com os objetivos das instituições citadas acima, mas que aponta para alguns limites do otimismo determinista acerca da possibilidade de um desenvolvimento plenamente sustentável. Além de estudar e mapear as propriedades das entidades químicas já conhecidas, a química tem como um de seus principais objetivos a criação de novos corpos materiais. Essa ciência do concreto lida com substâncias que o tempo todo nos rodeiam, em comidas, bebidas, materiais sintéticos, fertilizantes, drogas e fármacos, além das armas convencionais, biológicas e nucleares. No entanto, ao trabalhar com corpos reais, a química enfrenta dois problemas fundamentais: a capilaridade e os modos de existência dessas substâncias fabricadas e postas à disposição para os mais variados empregos. A complexidade desses problemas está no fato de que as substâncias químicas não interagem apenas entre si, mas também com o ambiente natural e com os sistemas vivos em geral, e isso em temporalidades que variam de poucos segundos a milhares de anos. Isso significa que filósofos e filósofas da química têm que deixar de lado metodologias e objetivos da física e da química clássicas que se dirigiam preferencialmente a descoberta de leis necessárias e universais da natureza em uma perspectiva causal, determinista e, portanto, reducionista.

A química contemporânea distancia-se do ponto de vista reducionista por operar num âmbito de 'complexidade' que se afasta do determinismo. A complexidade pode ser aqui entendida quando, num determinado sistema, surgem propriedades não esperadas quando as suas partes, ou elementos, estão isolados. O todo físico, químico ou biológico não é o resultado da mera soma das parcelas. Em outras palavras, não basta apenas o conhecimento das partes de um dado sistema. Essa complexidade obriga-nos a refletir sob a égide de uma epistemologia não causal em que novos elementos, tais como incerteza, contingência, imprevisibilidade, risco, desordem e destruição estejam presentes. A emergência de novas relações com outras substâncias, com o meio ambiente e com a vida humana se torna essencial. Nesse sentido, as pesquisas em filosofia da química não devem mais ficar restritas a questões teóricas, experimentais ou pedagógicas, mas sim considerar o âmbito da vida, i. e., os elementos do mundo vivo em seu devir social, cultural e ambiental.

De fato, embora possamos partir da premissa de que a síntese de uma determinada substância deve objetivar sobretudo um potencial benéfico para a sociedade, sabemos

que nem sempre isso ocorre. Do ponto de vista geral, esse potencial benéfico não seria atingido invariavelmente pois, no limite, cada nova molécula pode ter ameaças em potencial que ainda ignoramos. O ganho de conhecimento deve ser comparado com o aumento do desconhecimento ou da falta de conhecimento, definido pelo número de suas propriedades que restam a conhecer. Com cada produção de uma nova substância, o âmbito do não conhecido aumenta pelo número de propriedades indeterminadas da nova substância, bem como por toda a reatividade química das substâncias já existentes com a nova. Assim, em geral, a síntese de novas substâncias produz muito mais não conhecimento do que conhecimento, embora isso varie em casos particulares em que a síntese é realizada para melhorar ou qualificar conhecimentos mais gerais. Além do interesse acadêmico, a produção de não conhecimento pela síntese de novas substâncias é de interesse geral, pois se as novas substâncias saem dos laboratórios e tornam-se parte do nosso ambiente material, isso faz necessariamente aumentar sua capilaridade e, portanto, sua complexidade química.

Neste artigo, privilegamos uma abordagem filosófica de algumas entidades químicas a fim de apontar certos elementos científicos, sociais e ambientais que constituem suas biografias. Lembramos que biografar um material, na perspectiva de Bernadette Bensaude-Vincent, significa fazer convergir elementos da filosofia e da história da química e de sua indústria, com aspectos sociais, culturais, históricos, geopolíticos e ambientais (Bensaude-Vincent, 2022). Com isso, o nosso objetivo é contribuir para um entendimento da química como parte da cultura e não apenas como uma ciência utilitária e importante para garantir um sonhado desenvolvimento sustentável. Da nossa perspectiva, as abordagens otimistas propostas pelos químicos profissionais não consideram com a devida atenção a história da química, tampouco as consequências de sua indústria no âmbito da vida social, cultural e ambiental.

Por isso, consideramos que a filosofia da química pode contribuir na promoção cultural da química, pois mais do que propor slogans e iniciativas de pesquisa em uma “química sustentável”, deve-se tomar a química como parte da cultura científica, com sua autonomia metodológica, ontológica e epistêmica, e que oferece um “ponto de vista” particular e fundamental sobre os materiais que constituem o nosso mundo. Propomos um breve estudo de três casos nos quais o desconhecimento e a imprevisibilidade de certos comportamentos das entidades químicas causam grande impacto social e

ambiental. O primeiro trata dos clorofluorcarbonetos (CFCs), compostos que possuem carbono, flúor e cloro em sua estrutura. Como são gasosos, foram utilizados a partir da década de 1930 nas tecnologias de refrigeração e aerossol devido à sua relativa estabilidade e segurança, sendo essenciais para a consolidação de uma indústria do frio. O segundo reflete sobre a emergência de uma idade dos plásticos. Esses polímeros sintéticos derivados do petróleo são certamente alguns dos materiais que mais contribuem para a presença humana na nossa biosfera. O terceiro aborda a invenção e a capilarização social das anfetaminas, moléculas sintetizadas ao longo do século XX e com poderosa ação psicotrópica e que reflete de maneira precisa a nossa era plena de positividade.

### ***A química e a indústria do frio***

A fabricação artificial do frio constitui um momento de inflexão cultural na conservação e no transporte de alimentos. Até então para os alimentos eram utilizados métodos tradicionais de conservação, como secagem, defumação, desidratação em sal comum, em solução aquosa de vinagre/salmoura ou em gelo natural. No século XIX, um avanço significativo na conservação de carnes vermelhas foi proporcionado pelo químico Justus von Liebig (1803-1873), que desenvolveu um método para produzir extrato de carne que permitia reduzir cerca de 30 kg de carne bovina em 1 kg de extrato conservando suas propriedades nutritivas. Esse método foi posto em prática de modo industrial pela primeira transnacional do setor de alimentos, a LEMCO (*Liebig's Extract of Meat Company Limited*), instalada no Uruguai em 1863 e que exportava o extrato para o mundo todo. Contudo, a fabricação artificial do frio pôs fim ao método químico de conservação aplicado pela LEMCO, o que levou à venda da companhia em 1924, encerrando um ciclo de inovações da indústria de conservação de carnes. A partir desse período a conservação e o transporte será feito *in natura* em frigoríficos instalados em trens e navios (Lewowicz, 2016).

Mas a química continua a ter papel importante no processo de conservação de alimentos, pois desde então ela é essencial na produção de frio artificial. O químico escocês William Cullen (1710-1790) foi o primeiro a produzir frio de modo artificial ao conectar um recipiente contendo éter vitriólico (éter etílico, C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>O) a uma bomba de



vácuo fazendo o éter evaporar. Esse mecanismo absorvia calor e provocava a formação de uma camada de gelo na parede externa do recipiente. A primeira liquefação de um gás foi obtida pelo químico francês Guyton de Morveau (1737-1816). Ele reagiu o cloreto de amônio ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) com óxido de cálcio ( $\text{CaO}$ ) e o gás amônia ( $\text{NH}_3$ ) produzido passou por um banho de neve misturado com cloreto de cálcio ( $\text{CaCl}_2$ ), o que fazia a temperatura cair abaixo de  $30^\circ\text{C}$  e obter amônia líquida (Guyton, 1799, p. 290). No entanto, a primeira investigação sistemática e documentada sobre liquefação de diversos gases surgiu em 1823 e foi proposta pelo químico e físico inglês Michael Faraday (1791-1867), na Royal Society. Por meio da decomposição térmica de alguns sais no interior de um tubo curvado, Faraday produziu temperaturas capazes de liquefazer gases como a amônia, o dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ), o cloro ( $\text{Cl}_2$ ) e o gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ) (Faraday, 1823).

A liquefação de substâncias gasosas foi fundamental para a emergência da mecanização da produção do frio, pois algumas delas passaram a ser utilizadas como fluidos refrigerantes. A forma mais comum de tecnologia de refrigeração, desenvolvida inicialmente pelo inventor norte-americano Oliver Evans (1755-1819) e patenteada pelo inglês Jacob Perkins (1766-1849) em 1834, baseia-se no fato de que quando um líquido é forçado a evaporar ele remove uma grande quantidade de calor do seu ambiente imediato e quando esse vapor se liquefaz, libera calor. A máquina frigorífica era composta de cinco partes básicas: compressor, condensador, evaporador, dispositivo de expansão e o fluido refrigerante. A tecnologia fundamenta-se, assim, em um gás que é facilmente condensado por arrefecimento ou compressão, com um ponto de ebulição no intervalo entre  $0^\circ\text{C}$  e  $-50^\circ\text{C}$ . Era a diferença entre propriedades termodinâmicas dos fluidos que distinguia as substâncias como bons ou maus refrigerantes. Porém, as propriedades físicas não são suficientes para a escolha de um fluido refrigerante, pois os requisitos químicos são fundamentais.

Uma substância não pode ser utilizada como refrigerante a menos que seja quimicamente estável e que tenha certas propriedades, como a de não ser tóxica, corrosiva, inflamável ou explosiva. A refrigeração baseia-se na repetição de ciclos termodinâmicos de vaporização-condensação de um fluido refrigerante. O processo de vaporização, ou passagem de um fluido do estado líquido ao estado vapor, refrigera o interior da máquina absorvendo energia do exterior. Na operação inversa de condensação o vapor retorna ao estado líquido liberando energia para o ambiente externo da máquina.

Existem poucas substâncias com pontos de ebulição nessa gama de temperatura e o número de tais substâncias disponíveis durante a década de 1920 era inferior a 10. Nos primeiros tempos da refrigeração, o gás mais utilizado para a maioria das aplicações era a amônia que, apesar de tóxica, não era inflamável nem explosiva e ainda era solúvel em água. Vários outros gases foram utilizados em menor escala, ou investigados para possível uso, como o éter etílico (C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>O), o cloreto de metila (CH<sub>3</sub>Cl), o dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) ou ainda o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) (Christie, 2003, cap. 2).

A indústria do frio se desenvolveu na Europa e nos EUA no início do século XX, período que é frequentemente descrito como a “segunda revolução industrial”. Essa nova indústria aproveitou as infraestruturas dos sistemas elétrico, ferroviário e marítimo, que constituíam as redes industriais mais bem organizadas e extensas. Um exemplo da inflexão cultural provocada por essa nova indústria na conservação e no consumo de alimentos está na construção de uma cadeia do frio criada pela França nas primeiras décadas do século. O objetivo era o de transportar carne bovina da Argentina e de peixe da colônia de Saint-Pierre-et-Miquelon, localizada na América do Norte, a fim de suprir tanto as necessidades do Exército durante a Primeira Guerra Mundial, quanto a de promover o consumo de peixes congelados, pouco apreciados pela população francesa. Essa “cadeia de frio” abriu um novo horizonte para a refrigeração, pois consistia num sistema técnico que atrasava o prazo de validade dos gêneros alimentícios perecíveis, alargando o seu espaço de comercialização e ocorria em níveis de distribuição regional, nacional e internacional (Delaire & Teissier, 2020).

Essa indústria do frio irá se capilarizar nas sociedades a partir da invenção das primeiras geladeiras domésticas. O primeiro frigorífico para uso doméstico foi chamado de DOMELRE (acrônimo de *domestic electric refrigerator*). Inventado pelo engenheiro norte-americano Fred Wolf Jr. (1879–1954) em 1913, o dispositivo elétrico tinha um enorme potencial, afinal proporcionava uma refrigeração sem o uso do gelo, comum à época, e com baixos custos operacionais, já que a eletricidade era barata. A eletrificação massiva, primeiro na Europa e nos Estado Unidos, mas ao longo do século XX no mundo, foi fundamental para a capilarização da indústria do frio. Sem a eletricidade e sua produção em grande quantidade por meio das primeiras usinas hidroelétricas, a refrigeração doméstica não teria sido possível. Embora o DOMELRE ofereça uma maior precisão no controle do frio, a refrigeração doméstica ainda não apresentava muita

confiabilidade. Nas décadas seguintes, porém, os frigoríferos domésticos encontraram o mercado de massa, aumentando o consumo de fluido refrigerante (Rees, 2013, p. 137).

Contudo, a toxicidade da amônia e de outros refrigerantes ainda era um problema. Uma família de substâncias conhecidas como clorofluorcarbonetos (CFCs) era estudada desde o final do século XIX, a partir da síntese de seu primeiro componente, o diclorodifluorcarbono ( $\text{CF}_2\text{Cl}_2$ ) pelo químico belga Frédéric Swarts (1866-1940). Mas foi o químico norte-americano Thomas Midgley Jr. (1889-1944) quem primeiro atestou as propriedades refrigerantes do  $\text{CF}_2\text{Cl}_2$ , que foi patenteado em 1929 pela indústria DuPont, em consórcio com a General Motors, com o nome de Freon 12 ou R12. A produção era feita pela reação entre o tetraclorometano ( $\text{CCl}_4$ ) e o ácido fluorídrico (HF). Outros componentes da família também começaram a ser utilizados como, por exemplo, o CFC 11 (triclorofluorcarbono,  $\text{CFCl}_3$ ) e o CFC 113 (triclorotrifluoretano,  $\text{C}_2\text{F}_3\text{Cl}_3$ ). As principais características que tornaram os CFCs de uso extensivo na refrigeração, como propelentes de aerossóis e na expansão de espumas como as de poliuretano, eram a baixa toxicidade, não ser inflamável e explosivo, possuir estabilidade química e ser atóxico para os seres vivos. Além disso, possuíam características físicas que permitiam o seu uso em várias aplicações como elevada pressão de vapor, baixa condutividade na fase de vapor e compatibilidade com muitos materiais (McFarland, 1989). Essas propriedades dos CFCs permitiam o uso seguro tanto em refrigeradores industriais quanto domésticos, além de servir a uma nova linha de produtos da indústria do frio, os condicionadores de ar residencial e automotivo.

Em um primeiro momento, a substituição de fluídos refrigerantes perigosos pelos CFCs parecia uma solução industrial perfeita. Ocorre que dos produtos químicos podem surgir comportamentos imprevistos a depender dos contextos que se apresentam. Embora seja verdadeiro que os CFCs tenham baixa toxicidade para os seres vivos, suas moléculas se revelaram extremamente destrutivas para a camada de ozônio ( $\text{O}_3$ ), localizada na estratosfera. Pesquisas realizadas nos anos 1970 pelos químicos Mario Molina e Sherwood Rowland da Universidade da Califórnia e publicada na revista *Nature*, apontaram a destruição da camada de ozônio pelos CFCs. De acordo com eles, os CFCs permanecem na atmosfera por longo período, 40 a 150 anos, e o cloro presente na molécula se libera e reage com o ozônio de forma catalítica, ou seja, não se modifica no

processo. Cada átomo de cloro poderia destruir cerca de 100.000 moléculas de ozônio antes de ficar inativo (Christie, 2003, cap. 5).

O trabalho de Molina e Rowland foi fundamental no alerta para o enorme problema criado por entidades químicas até então consideradas de baixo risco. Em 1978 autoridades sanitárias e ambientais norte-americanas proibiram o uso não essencial de CFCs em aerossóis, substituídos por propano ( $C_3H_8$ ) e butano ( $C_4H_{10}$ ), exemplo que foi seguido pelo Canadá e países escandinavos. Em 1987, 93 países assinaram o Protocolo de Montreal, que previa uma limitação na produção de CFCs e uma redução gradual no uso, além da necessidade de sua reciclagem. Ao abrigo desse protocolo e das regulamentações nacionais, verificaram-se reduções significativas na produção, utilização, emissão e concentração atmosféricas de CFCs, com clara evidência de recuperação do ozônio estratosférico. Sem dúvida, sem o alerta precoce de 1974 e sem o Protocolo de Montreal de 1987, a destruição da camada de ozônio seria provavelmente muito maior do que a observada hoje (Velders, et al, 2007).

O Brasil é signatário desse Protocolo (Decreto nº99.280/90) e por decisão do Conselho Nacional do Meio Ambiente de setembro de 2000 (Decreto nº99.220) ficou proibido o uso e produção de CFCs e outras substâncias prejudiciais à camada de ozônio (IBAMA, 2024). Essas medidas de prevenção levaram os químicos a buscarem alternativas para suprir essa necessidade da indústria do frio. Atualmente, a principal alternativa empregada para fluido refrigerante nos utensílios mais comuns é o tetrafluoretano ( $C_2H_2F_4$ ), molécula derivada da família original dos CFCs e, mesmo não sendo totalmente inofensiva, reduz consideravelmente o prejuízo à camada de ozônio.

O caso dos CFCs é exemplar de como a química pode oferecer soluções para demandas industriais e sociais, mas ao mesmo tempo criar grandes problemas ambientais. Também demonstra o caráter da imprevisibilidade que as moléculas químicas originalmente apresentam, inofensivas em determinados contextos, altamente destrutivas em outros. Por isso, é fundamental considerar essa imprevisibilidade como parte dos critérios de justificação para produção, uso e descarte das moléculas inventadas pelos químicos e postas à disposição pela indústria para a sociedade. Deve-se levar em conta as novas relações com outras substâncias, com o meio ambiente, com a vida humana e animal. Nesse sentido, as pesquisas em química não devem se limitar ao laboratório,

mas levar em consideração o âmbito da vida, entenda-se, as relações das diferentes substâncias e materiais com os elementos do mundo social, cultural e ambiental.

A imprevisibilidade constitui um alerta mesmo para as moléculas químicas criadas no âmbito de um desenvolvimento sustentável. Sem dúvida, nos anos 1930 os CFCs eram considerados um avanço, embora posteriormente tenham se mostrado como o oposto da sustentabilidade almejada. Esse caso nos aponta também para uma atitude científica e social fundamental de precaução de possíveis malefícios ainda não catalogados, da necessidade de pesquisas científicas permanentes e não apenas focadas no potencial uso antropocêntrico de uma substância. Foram as investigações acadêmicas de Molina e Rowland que impulsionaram as medidas protetivas adotadas em convenções internacionais para a proteção da camada de ozônio. Daí a necessidade de financiamento permanente em pesquisas acadêmicas independentes, notadamente pelo poder público. Enfim, esse caso também nos mostra a importância da química na produção de um dos principais produtos demandados pelas sociedades contemporâneas, o frio. Se o domínio do fogo remonta à pré-história, o controle do frio é fruto da ciência moderna da qual a química é parte constitutiva.

### ***A questão dos plásticos e os desafios da temporalidade***

Até meados do século XIX o uso dos plásticos naturais, como a goma-laca e a guta percha se restringia a uma elite interessada, sobretudo, em produtos de luxo como pentes e botões sofisticados. Wiebe Bijker no seu livro *Of Bicycles, Bakelites and Bulbs* (1995) discute de maneira precisa que a vulcanização da borracha, descoberta entre os anos de 1830 e 1840, abriu caminhos importantes para novas aplicações e ampliou o uso dos plásticos para outros grupos sociais. De fato, a borracha natural retirada de algumas árvores, como a seringueira, produz grande quantidade de látex. Esse líquido leitoso esbranquiçado que forma uma suspensão coloidal constituída por micropartículas orgânicas dispersas em meio aquoso, é notável em termos de propriedades químicas especialmente pela sua sensibilidade à temperatura. Acima de 60°C é macio e mole e abaixo de 10°C é, ao contrário, duro e quebradiço. Como solucionar esse problema? Exatamente pelo processo de vulcanização: a borracha quando aquecida com enxofre em pó torna-se mais resistente, menos sensível à temperatura e mais flexível. Quando

químicos alteram a quantidade de enxofre, controlam a flexibilidade e a dureza da borracha. A versatilidade desse novo material carrega consigo novas aplicações, como o isolamento elétrico. A vulcanita ou ebonita (patente recebida em 1851), que continha cerca de 30% de enxofre, começa a ser empregada no revestimento interno de aparelhos químicos, armazenamento de baterias de automóveis e fabricação de instrumentos cirúrgicos. Parecia um sonho manusear as novas propriedades de um material que não tinha a frieza e o peso dos metais, nem a fragilidade e os custos da cerâmica e do vidro, nem a efemeridade dos materiais naturais. A prevalência estética pela borracha, porém, dificilmente supera o de substâncias mais nobres como o marfim. Assim, novas pesquisas são feitas tendo como modelo a aparência desses constituintes calcificados dos dentes de mamíferos, sobretudo de elefantes (Zaterka & Mocellin, 2022). Observamos, então, o início de uma capilarização social e econômica dos plásticos.

Depois de inúmeras pesquisas acerca dos polímeros, pesquisadores desenvolveram o celuloide, mistura aquecida e submetida a alta pressão de nitrato de celulose, álcool e cânfora. Pela sua alta maleabilidade, ganha um espaço importante na indústria cinematográfica, especificamente pelo uso como componente dos filmes. É nesse contexto, na década de 1920, que surge a substituição dos polímeros naturais pelos sintéticos, pois como o celuloide é altamente explosivo, novas investigações foram necessárias para otimizar as propriedades dos polímeros. A cada substância descoberta, propriedades desconhecidas surgem. Enfim as pesquisas avançam em relação direta com as demandas sociais, econômicas e estéticas de uma determinada época.

Interessante pensamos que esse material fabricado pelos químicos para carregar propriedades específicas como durabilidade e resistência se tornou o ícone da descartabilidade, efemeridade e instantaneidade. Aliás a própria palavra *plastikos*, de origem grega, significa flexível, facilmente moldado. A era do plástico carrega essa característica maleável e adaptável dos anos de adolescência, quando alguém pode se transformar e se modificar com muita facilidade frente às novas experiências da vida (Gabrys, 2013). A baquelite foi o primeiro polímero sintético a ser produzido em 1907 por Leo Baeckeland (1863-1944) em Nova York (American Chemical Society, 1993). Era termorrígido, ou seja, depois de obtido pela polimerização do fenol e do formaldeído, não poderia ser remodelado. Muito elogiado por apresentar propriedades importantes como leveza, durabilidade, estabilidade, isolamento e resistência, seu sucesso foi imediato e

rapidamente ele é empregado na produção de interruptores, cabos de painéis, telefones, bolas de bilhar, câmeras, discos e peças de automóveis, penetrando rapidamente na vida dos consumidores por sua versatilidade e baixo custo. Assim, a capilarização dos plásticos aumenta de maneira exponencial.

De fato, químicos começam a dominar e criar propriedades específicas para os plásticos. A reação na qual milhares de estirenos ( $C_6H_5CHCH_2$ ) produzem o poliestireno  $(C_8H_8)_n$  é chamada de polimerização. Esses polímeros sintéticos são constituídos por longas cadeias de átomos de carbono e hidrogênio, dispostas em unidades repetidas. O comprimento dessas cadeias, muitas vezes mais longo que os naturais, e os padrões em que estão dispostos tornam os polímeros fortes e flexíveis. Além disso são leves, possuem alta proporção entre resistência/peso, rígidas, resistentes à corrosão, inertes e excelentes isolantes térmicos e elétricos. Porém, são termorrígidas, não podendo ser reaquecidas e moldadas novamente. A partir desse 'problema' estrutural surge uma nova categoria de polímeros: ao formar ligações químicas mais fracas, os termoplásticos podem ser reaquecidos e derretidos e, então, como são menos rígidos e mais flexíveis, possuem a capacidade de serem remodelados (Zaterka & Mocellin, 2022).

Devido as novas propriedades físicas e químicas dos plásticos, observa-se uma nova capilarização, atingindo os transportes, artigos esportivos, aplicações aeroespaciais e militares. Do ponto de vista filosófico, o desenvolvimento desses novos processos técnicos mostra que diferentemente dos metais e da madeira, que são pré-existentes a suas moldagens, os plásticos são moldados e sintetizados simultaneamente. Matéria e forma são geradas em um único gesto, afinal o carbono, átomo estruturador dos polímeros, tem a capacidade de formar ligações covalentes tanto com outros átomos de carbono, como com átomos diferentes (Bensaude-Vincent, 2013).

De posse desse amplo domínio químico, o uso dos plásticos se multiplicou. Na medicina, em utensílios descartáveis, como seringas, ou mais duráveis, como implantes ou próteses; nas embalagens de alimento ou limpeza que utilizamos cotidianamente; nos utensílios em geral e bens de consumo. De fato, é impossível pensarmos na nossa vida cotidiana sem sua presença. Desde 1950 a sua produção ultrapassou os 9 bilhões de toneladas! Hoje, mais de 310 milhões de toneladas de plástico são produzidos a cada ano, representando cerca de 8% da produção anual mundial de petróleo (Andrady 2009; Liboiron, 2013).

Em 1941, quando a fabricação dos plásticos em grande escala estava apenas no seu início, dois funcionários da empresa B. X. Plásticos Ltda, o químico V.E. Yarsley e o gerente de pesquisa E. G. Couzens, enfatizaram as virtudes desse novo material sintético:

“O ‘Homem de plástico’ entrará em um mundo de cores e trará superfícies brilhantes... ele está cercado por todos os lados por este material resistente, seguro e limpo que o pensamento humano criou... Veremos crescer em torno de nós um mundo novo, mais brilhante, mais limpo e mais bonito, um ambiente não sujeito à distribuição aleatória dos recursos das nações, mas construído para a ordem, a expressão perfeita do novo espírito de controle científico planejado, a Era do Plástico” (Yarsley and Couzens, 1941, pp. 149–52).

Ora, se Yarsley e Couzens tinham razão a respeito das potencialidades desse novo material, ao imaginar um futuro permeado por plásticos brilhantes, coloridos e leves, erraram drasticamente ao introduzir os plásticos dentro de um “espírito de controle científico planejado” e acreditar que pela sua beleza, leveza e segurança teríamos um mundo limpo e mais bonito. Poucos anos depois do nascimento do “homem de plástico” entramos numa escala de poluição planetária sem precedentes. Um mundo bem distante de uma ‘ordem científica planejada e limpa’. De fato, a poluição plástica encontra-se em todo o mundo. Seus modos de existência multiplicaram-se, podendo ser encontrados em rios, mares, placentas humanas, no ar, no organismo de aves e peixes. O descontrole do uso e da poluição dos plásticos tem relação direta com a temporalidade desses polímeros.

O acúmulo de plástico no ambiente ocorre quando a taxa de poluição por plástico que entra em uma determinada área excede a taxa dos processos naturais de remoção ou das ações de limpeza. O plástico é persistente no ambiente, com taxas de remoção natural na escala de décadas a séculos. Se a casca da banana demora de 3 a 4 semanas para se decompor, a casca da laranja 6 meses, o papel e o jornal de 3 a 6 meses, os legumes de 3 meses a 2 anos, um simples copinho de café leva 400 anos para deixar de existir. Uma linha de pesca? 600 anos. Garrafas de plásticos e fraldas descartáveis? 400 a 500 anos. A decomposição dos plásticos opera em uma outra temporalidade, muito superior à do papel, da madeira (6 meses em média), do cigarro (5 anos), dos sapatos de couro (30 anos) e dos tecidos de algodão (15 anos). Estamos falando de materiais que demoram em média 4 séculos para deixar de existir, acumulando-se, nesse período, no meio ambiente (Zaterka, 2023).



Estamos vivenciando uma era de 'plasticínio'. A descartabilidade e a efemeridade nos atingem enquanto seres humanos. No âmbito global, estamos imersos na poluição ambiental, no afetivo, vivenciamos as relações descartáveis e transitórias. O plástico, de um material entre outros, tornou-se o artefato que melhor representa as sociedades ocidentais capitalistas: as matérias e os artefatos produzidos por nós impulsionam diretamente novas práticas culturais e transformam a vida social e econômica de uma dada sociedade. Em outras palavras, os materiais sintetizados impactam diretamente a cultura humana, pois a civilização emerge e se adapta em relação às demandas materiais e tecnológicas, e esses últimos podem, então, reconfigurar de maneira negativa, a própria relação entre natureza, artefatos e cultura (Bensaude-Vincent, 2013).

### ***Anfetaminas e a era das smart drugs***

Outro estudo que ilustra de maneira manifesta o caráter situado das substâncias químicas é o das anfetaminas, uma classe de substâncias psicotrópicas (psique/mente – topos/alteração) pertencentes à função orgânica amina, que foram produzidas com o objetivo de imitar a função da adrenalina, um mecanismo de defesa natural de nosso organismo. Sua estrutura deriva da efedrina, um medicamento milenar chinês extraído do gênero Ephedra, usada por muitas culturas como descongestionante nasal, tratamento de asma e estimulante. Nagai Nagayoshi, químico e farmacologista japonês, isolou a metanfetamina a partir da efedrina pela primeira vez em 1885 e dois anos depois a anfetamina foi sintetizada na Alemanha pelo químico Lazar Edeleanu. A fórmula química da anfetamina é  $C_9H_{13}N$  e a sua base é, geralmente, um óleo incolor, volátil e insolúvel em água. O sal mais comum é o sulfato, um pó esbranquiçado solúvel em água, sendo essa a forma da maioria das formulações ilícitas, podendo também ser encontradas sob a forma de comprimidos (EMCDDA, 2015). As anfetaminas existem em duas formas óticamente ativas, a dextro e a levo. Elas são normalmente consumidas sob a forma de d-anfetamina ou mistura racêmica (Juaristi & Stefani 2012). Essas drogas possuem ação direta no sistema nervoso central, atuando sobre transportadores dopaminérgicos, noradranérgicos e transportadores da serotonina. Durante anos de pesquisas, diversas

substituições na estrutura química das anfetaminas foram realizadas, gerando outros fármacos com várias propriedades e usos.

É interessante analisar a dupla relação de produção de uma nova droga e seus usos sociais e/ou culturais. Sabemos que muitas vezes a síntese de uma molécula não se deve exclusivamente a causas de âmbito teórico e/ou experimental, i. e., de motivações estritamente desinteressadas, mas é guiada por um conjunto de relações e de interesses materialmente dados, por indústrias, mercado ou pela própria sociedade. Importante notar que questões de ordem social, cultural e econômica foram fundamentais para o desenvolvimento químico e farmacológicos dessas drogas. As moléculas não são ‘descobertas’, mas fabricadas e reproduzidas. Assim, não existe uma droga que precede a sua socialização, fármacos são constituídos e desenvolvidos em relação a contextos mutáveis, sociais e culturais precisos.

Depois de sintetizada por Edeleanu em 1887, a anfetamina começa a ser comercializada em 1932 como inalador, utilizado para aliviar a congestão nasal, sob o nome de Benzedrina. A ampliação do uso e da aderência a questões de ordem política e militar ocorre durante a segunda guerra mundial, pois foram utilizadas para aliviar a fadiga, aumentar a vigília e reforçar a resistência de centenas de soldados. Cinco anos mais tarde a Benzedrina surgiu na forma de pílula, chegando a vender mais de 50 milhões de unidades nos três primeiros anos após a introdução no mercado. Já nos anos 1950, essas drogas ganham uma nova dimensão e passam a ser prescritas com frequência nos EUA, sendo agora indicadas para enfermidades como narcolepsia, alcoolismo e depressão (Muakad, 2013). Na década posterior, ela sofre mais dois acréscimos consideráveis em sua utilização: ‘se adapta’ ao mercado de caminhoneiros, devido às suas propriedades estimulantes e, em seguida, pesquisadores descobrem que alguns derivados de anfetaminas possuíam uma propriedade singular para o mercado da nossa sociedade contemporânea, como inibidores de apetite. “Os emagrecedores”, como são conhecidos, passam a ser sintetizados tanto em laboratórios farmacêuticos, como por farmácias de manipulação (Muakad, 2013).

O metilfenidato, derivado anfetamínico sintetizado por Leandro Panizzon, foi patenteado em 1954. É um fármaco estimulante do sistema nervoso central (SNC), cuja

fórmula é  $C_{14}H_{19}NO_2$ . Seu princípio ativo, atualmente, é encontrado em medicamentos de referência e altamente comercializados como a Ritalina e a Concerta. Inicialmente, tinha como aplicações terapêuticas propriedades para diminuir a inquietação motora, aumento de concentração, atenção e memória (BPR, 2010). Hoje ganhou um lugar fundamental em nossa sociedade, sendo prescrito no âmbito educacional para crianças com Transtorno de Déficit de Atenção com ou sem Hiperatividade – TDH/H. Segundo a ONU (2019), o comércio mundial de metilfenidato aumentou no período entre 2008 e 2017, visto que a fabricação em 2008 era de aproximadamente 1,5 milhão de doses diárias definidas para fins estatísticos (S-DDD), enquanto em 2017 o valor atingiu cerca de 2,4 milhões de S-DDD fabricadas. Conforme o relatório *Report of the international narcotics control board* para 2011, da Organização das Nações Unidas (ONU), o metilfenidato é o estimulante mais consumido no mundo e seu uso necessita de um controle especial devido ao seu potencial de abuso e dependência (Nasário, 2022). No Brasil, ele foi aprovado em 1998 para o tratamento do TDAH em crianças a partir de seis anos de idade e no tratamento da narcolepsia em adultos, um distúrbio que causa sonolência excessiva durante o dia e afeta 0,2 a 0,5% da população mundial.

Se as anfetaminas no início do século XX eram utilizadas para problemas respiratórios, narcolepsia e fadiga, essas substâncias psicotrópicas se capilarizaram de maneira impressionante atualmente, apresentando um uso não terapêutico e frequentemente ilegal. Em outras palavras, hoje, milhares de pessoas saudáveis fazem uso recreativo dessas drogas. Aqui entra em cena outro modo de existência dessas substâncias para performance mental. Afinal, melhorar a produtividade de todos é um ‘dever’ de nossa sociedade marcada pela era da plena positividade (Han, 2022). De fato, a busca pela positividade e pelo pleno reconhecimento social tem se tornado um forte estímulo para prescrições farmacológicas meramente recreativas e instrumentais. Observamos que o tipo de consumo dessas anfetaminas e seus derivados em pessoas saudáveis atinge escalas crescentes e alarmantes, pois elas possuem a capacidade de intensificar a atenção, melhorar o pensamento, aperfeiçoar o desempenho físico, otimizar a memória e a concentração, aumentar o tempo de vigília e elevar, enfim, a capacidade produtiva em geral. Se no passado o uso não terapêutico das drogas era feito para facilitar a transe entre o mundo do profano e do sagrado, tendo um significado mais espiritual,

hoje, esse uso tem direta associação com o aumento da eficiência e da produtividade humanas. Isso significa uma relação do uso das anfetaminas e seus derivados com elementos de ordem institucional, tais como saúde, educação, trabalho e economia, ou seja, com o mundo da cultura em sentido amplo.

Alfred N. Whitehead (1861-1947), ao problematizar o método de invenção, discute que objetos materiais, como as moléculas, existem em um ambiente material e informacional. De fato, as indústrias químicas e farmacêuticas não produzem moléculas isoladas de seu meio. Um ambiente de entidades informativas e materiais penetra na constituição de uma determinada entidade (Whitehead, 1985). É por isso que as moléculas são melhoradas e enriquecidas por meio da prática laboratorial, porém informações como a potência, o metabolismo e a toxicidade das drogas, por exemplo, são fundamentais para a invenção desses novos materiais informados. Nesse sentido, a química deve ser vista sobretudo como uma ciência de relações ou associações e, portanto, uma determinada molécula ou substância deveria ser compreendida como uma entidade não somente física ou química, mas sobretudo histórica (Whitehead, 1978). E, acrescentamos agora, cultural. As propriedades de uma molécula de água são diferentes em temperaturas acima e abaixo de 0°, as propriedades de um átomo de hidrogênio ligado a uma molécula de água são diferentes das de um átomo de hidrogênio ligado a uma de cloro, as propriedades de uma substância variam consideravelmente se ela contém impurezas ou não. Devemos lidar com entidades reais que estejam em contextos determinados. O desafio posto, como já nos alertava Latour, será multiplicar as relações possíveis entre as diferentes formas de existência de uma molécula dentro e fora do laboratório, para termos cada vez mais resultados satisfatórios (Latour, 1999; Barry, 2001).

Se assim for não podemos deixar de enfatizar, por fim, as consequências dessa nova forma “por medida” e informacional das pesquisas em química. Até agora, as “drogas inteligentes” são aprovadas apenas para doenças determinadas, como a narcolepsia e o TDAH, em doses específicas. Preocupações significativas devem existir sobre os impactos desses fármacos quando usados por pessoas saudáveis, ainda mais em doses excessivas. Como esses medicamentos modulam importantes sistemas neurotransmissores, como dopamina e noradrenalina, os usuários assumem riscos significativos com o uso não

regulamentado. Sabemos que os riscos são uma questão fundamental da utilização em massa em âmbito recreativo das anfetaminas, podendo causar dependência, ansiedade, efeitos cardiovasculares acentuados, taquicardias e arritmia; se ingeridas em altas doses podem ainda causar efeitos neurotóxicos, acarretando lesões irreversíveis em neurônios dopaminérgicos ou serotoninérgicos do cérebro; hipertensão periférica por meio da ativação do sistema adrenal e o surgimento de efeitos comportamentais estereotípicos (Silva, 2002). Todos esses fatores podem ou não ser evidenciados, como vimos, dependendo da dose, do ambiente, da interação com outras drogas e do corpo do indivíduo.

Por meio dessa análise da capilarização das anfetaminas e seus derivados, podemos notar que a utilização de uma droga pode se expandir dependendo da sua forma de sociabilização no âmbito da cultura e de seu uso na esfera individual, considerando as interações entre indivíduo e sociedade. Os efeitos de uma droga em decorrência do abuso estão intrinsecamente associados pelas imagens e percepções que se constroem socialmente sobre a substância química. A sociedade atual aceita a doença, mas não admite sofrimento e angústia. Baixa produtividade, sono, tédio, angústia, lentidão, tristeza ou decepção não devem ser sempre medicados ou evitados a todo custo, pois são, afinal, partes constituintes de ser um humano.

### **Conclusão**

A ciência química e sua indústria desempenham um papel central nas sociedades contemporâneas. Ao partir de uma noção básica de que a cultura de uma sociedade se manifesta por meio de uma variedade de formas de comportamentos sociais de seus membros, de sua relação com a natureza e com outras culturas, apontamos que a filosofia e a história da química podem contribuir no entendimento da prática e do uso da química nessa sociedade. Essa presença pode se manifestar de maneira direta, através do fornecimento de materiais úteis para diversos usos, mas também de maneira indireta e frequentemente negligenciada. A negligência pode se revelar, por exemplo, na falta de investigações acerca do comportamento das entidades químicas em diferentes contextos

materiais e de vida orgânica, bem como acerca da permanência em diferentes temporalidades dos resíduos derivados dessas entidades.

Nas reflexões que apresentamos acima procuramos destacar que os produtos da indústria química e os riscos associados a eles são indissociáveis. As demandas sociais pelo estabelecimento de regulamentos protocolares que visem proteger os trabalhadores das indústrias químicas, seu entorno ambiental e humano, bem como os consumidores, são salutares. Mas é necessário deixar de lado a ilusão de que os riscos são todos controlados. Isso porque os acidentes são o ordinário na química, inscritos nas próprias substâncias que manipulamos e que resistem a uma total domesticação. Consideramos ser necessário analisar os benefícios que a ciência química presta à humanidade com o mesmo interesse que os malefícios causados por seus produtos, tais como toxicidade e desastres ambientais. Essa dualidade, porém, está longe de ser uma parte trivial da atividade química. Por exemplo, a água que, graças ao químico, é purificada e chega a bilhões de pessoas ao redor do mundo, em alguns lugares pode se tornar tóxica e mortal por meio de consequências desta mesma ciência. Outro exemplo dessa dualidade pode ser visto pelo uso de estrogênios sintéticos. Sabemos que esses hormônios femininos estão presentes nos anticoncepcionais, tão importantes como medicamentos na reposição hormonal de mulheres durante a fase da menopausa. Mas para onde vão os resíduos desses hormônios? O corpo humano elimina muitos dos medicamentos que ingerimos através da urina. A urina vai para os esgotos e, depois de atravessar um sistema imperfeito de purificação, seus resíduos desembocam nos rios atingindo, assim, as águas fluviais, com potencial de causar sérios problemas ambientais. Estudos apontam que os interferentes endócrinos alteram o desenvolvimento biológico dos seres vivos como a feminilização de algumas espécies de peixes machos, o que gera um importante desequilíbrio ecológico (Bila & Dezotti, 2007).

Ora, a partir da discussão dessa ampla problemática acreditamos que as instituições de pesquisa, públicas ou privadas, e as indústrias que tornam possível a existência das substâncias químicas na sociedade e no ambiente natural, deveriam promover pesquisas multiestratégicas. Toda pesquisa científica é conduzida seguindo uma determinada estratégia de investigação, que "(1) restringe os tipos de teorias, modelos, analogias, técnicas e simulações que podem ser usadas no curso da pesquisa; e (2) seleciona os tipos de dados empíricos que o cientista busca obter e relatar, assim como os fenômenos e aspectos a serem

observados e pesquisados” (Lacey & Mariconda, 2014, p. 645). A escolha de uma estratégia de pesquisa depende dos tipos de fenômenos que ocorrem em um determinado domínio de interesse e constitui uma das etapas na condução das atividades científicas. As estratégias descontextualizadas restringem as teorias ou hipóteses a serem investigadas e analisadas somente àquelas que representam os fenômenos, além de selecionarem e formularem dados empíricos utilizando categorias meramente quantitativas, deixando de lado aspectos qualitativos que podem ser fundamentais em determinados contextos. Esse tipo de estratégia é fundamental para o desenvolvimento da atividade científica, mas a ela é desejável adicionar outros elementos valorativos. De fato, é possível a escolha de estratégias de pesquisa que levem em consideração o contexto no qual a atividade científica será realizada.

Até recentemente, considerava-se que essa escolha decorria somente da avaliação cognitiva das teorias e das hipóteses utilizadas para dar conta das evidências empíricas dos fenômenos em questão, e que essa estratégia era livre de outros tipos de valores (pessoais, sociais, éticos, religiosos). Porém, tem-se mostrado ser possível preservar alguns ideais balizadores das atividades científicas, como a imparcialidade e a neutralidade na avaliação de teorias e hipóteses, ancorados em valores cognitivos, e mesmo assim assimilar outros valores na escolha das estratégias de pesquisas. É importante observar que a interação entre valores não cognitivos e atividades científicas pode ocorrer na escolha de estratégias, na condução da pesquisa, na divulgação dos resultados ou na aplicação do conhecimento científico, mas esses valores não devem interferir na avaliação cognitiva das teorias e hipóteses empregadas pela estratégia escolhida.

Assim, consideramos que ampliar a presença cultural da química também está associada a adoção de perspectivas multiestratégicas, na qual a responsabilidade em relação aos contextos sociais, ambientais e éticos são essenciais. Afinal, observamos que o desconhecido e o inusitado não são apenas características de novas moléculas, mas também de produtos químicos que foram disseminados sobre o mundo material há muitas décadas. Novas substâncias significam novas propriedades que são difíceis de prever em toda a sua extensão. Acima analisamos uma imprevisibilidade vinda da indústria do frio, distintas temporalidades que se entrecruzam em uma nova era de plásticos e uma positividade mental e produtivista trazida pelas anfetaminas na era das *smart drugs*. Desses três eixos de investigação destacamos os conceitos epistemológicos de imprevisibilidade,

temporalidades e positividade afetiva demandada pelas sociedades capitalistas e consumistas contemporâneas. A partir do estudo de alguns elementos biográficos das substâncias analisadas, esses conceitos nos serviram para apontar, desde um ponto de vista químico, filosófico e histórico, para a necessidade de se pensar a química no âmbito da cultura.

Nesse sentido, procuramos apontar que tanto nos processos pedagógicos de alfabetização em química quanto nas tomadas de decisão societárias, de governos e indústrias, a química deve ser pensada para além do seu utilitarismo. Em um primeiro momento, nossa contribuição pode levar a um certo pessimismo quanto ao bom uso da química, pois afirmamos que nosso conhecimento acerca das propriedades de uma entidade química sempre vem acompanhado de um desconhecimento, o que poderia sugerir que seria melhor interromper a produção de novas entidades químicas. Todavia, ao contrário de uma inércia pessimista, o que buscamos sugerir foi a ampliação permanente das investigações multiestratégicas do comportamento químico dessas entidades em diferentes contextos, e a mais ampla divulgação dessas informações.

Certamente, para isso ocorrer, é indispensável que estudantes e futuros cidadãos sejam capazes de dominar minimamente o vocabulário e os conceitos da química, dos usos pretendidos com seus produtos e dos riscos envolvidos, a fim de formar uma melhor opinião sobre a química e sua indústria. Sem dúvida, sem uma educação química de qualidade esse objetivo torna-se pouco plausível. As críticas feitas pela SBQ e pelos pesquisadores em educação química à nova BNCC são absolutamente pertinentes. Isso porque a química deve ser considerada em sua integridade epistêmica e não apenas como parte de algo genérico. Consideramos que essa educação não se limite aos aspectos descritivos de uso e de aplicações, mas que ofereça elementos que associem a formação disciplinar, ou seja, o difícil processo de alfabetização química efetuada nas aulas em sala e no laboratório, com as múltiplas relações que uma substância química pode apresentar em diferentes contextos. A filosofia e a história da química são essenciais para se alcançar esse duplo objetivo pedagógico.

Enfim, é nessa perspectiva que sustentamos que a química deve ser tomada como parte da cultura, analisada a partir de diferentes perspectivas e não somente como uma



ciência meramente utilitária. Infelizmente a redução ao utilitarismo fica evidenciada mesmo nas boas intenções promovidas por Agências internacionais e pela comunidade dos químicos. Sem dúvida as demandas para um desenvolvimento sustentável não poderão ser supridas sem o conhecimento químico. Contudo, resta a necessidade de se promover essa ciência tanto no âmbito educacional quanto na esfera pública. O objetivo dessa promoção é o de mostrar que refletir desde um ponto de vista químico é muito pertinente para tomadas de decisões epistêmicas, industriais e políticas que poderão ter consequências devastadoras se não consideramos os mais diversos aspectos da biografia das entidades químicas.

## Referências

- Andrady, A.L. & Neal, M.A. (2009). Applications and Societal Benefits of Plastics, *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364 (1526), 1977–84.
- Baird, D.; Scerri, E. & McIntyre, L. (Ed.) (2006). *Philosophy of Chemistry*. Dordrecht: Springer.
- Barry, A. (2001). *Political Machines: Governing a Technological Society*. London: Athlone Press.
- Bensaude-Vincent, B. & Eastes, R-E. (Org.) (2020). *Philosophie de la Chimie*. Paris: De Boeck Supérieur.
- Bensaude-Vincent, B. & Stengers, I. (1966). *História da Química*. Lisboa: Instituto Piaget.
- Bensaude-Vincent, B. (2013). Plastics, materials and dreams of dematerialization. In: Gabrys, J; Hawkins, G.; Michael, M. (Eds), *Accumulation: The material politics of plastic*. London/New York: Routledge, p. 17-29.
- Bensaude-Vincent, B. (Ed.) (2022). *Between Nature and Society. Biographies of Materials*. Singapore: World Scientific.
- Bila, D.M., Dezotti, M.(2007): Desreguladores endócrinos no meio ambiente: efeitos consequências. *Química Nova*, 30(3), 651-666.
- Bijker, W. (1995). *Of Bicycles, Bakelites and Bulbs: Toward a Theory of Sociotechnical Change*. Cambridge: The MIT Press.
- BNCC (2018). *Base Nacional Comum Curricular. A área de ciências da natureza e suas tecnológica*. <http://basenacionalcomum.mec.gov.br/>

- BPR (2010). *Guia de Remédios* - edição 2010/2011.10. São Paulo: Editora Escala.
- Centers for Disease Control and Prevention (CDCP) (2009). Fourth National Report on Human Exposure to Environmental Chemicals. *Department of Health and Human Services*. Washington, DC: CDCP.
- Christie, M. (2003). *The Ozone Layer: A Philosophy of Science Perspective*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Delaire, E. & Teissier, P. (2020). Horizons, chaînes et rivages frigorifique en France, 1900-1930. Marché alimentaires, modernités techniques et pêches industrielles. *Cahiers François Viète*, III (8), 51-90.
- EMCDDA (2015). European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction. *Annual Report on the implementation of Council Decision 2005/387/JHA*. [https://www.emcdda.europa.eu/publications/implementation-reports/2015\\_en](https://www.emcdda.europa.eu/publications/implementation-reports/2015_en)
- Erduran, S. (2001). Philosophy of Chemistry: An Emerging Field with Implications for Chemistry Education. *Science & Education*, (10), 581-593.
- Faraday, M. (1823). On the Condensation of Several Gases into Liquids. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 113, 189-198.
- Gabrys, J; Hawkins, G.; Michael, M. (2013). *Accumulation: The material politics of plastic*. Londres/Nova York: Routledge.
- Gois, J. & Ribeiro, M. A. P. (Org.). (2019). *Filosofia da Química no Brasil*. Porto Alegre: Editora Fi.
- Gois, J. (2012). *A significação de representações químicas e a filosofia de Wittgenstein*. Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo.
- Guyton, L.B. (1799). Expériences sur les refroidissemens artificiels. *Annales de Chimie*, tome 29. Paris: Fuchs & Guillaume, 290-298.
- Han, B-C. (2022). *Sociedade do Cansaço*. Rio de Janeiro: Vozes.
- Hyle (2001): International Journal for Philosophy of Chemistry. V. 7, n. 2. <http://www.hyle.org/journal/issues/8-1/index.html>
- Hyle (2002): International Journal for Philosophy of Chemistry, v. 8, n. 1, [http://www.hyle.org/journal/issues/7/hyle7\\_2.htm](http://www.hyle.org/journal/issues/7/hyle7_2.htm)
- IBAMA (2024). Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos. *Protocolo de Montreal*. <https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/emissoes-eresiduos/emissoes/protocolo-de-montreal>. Consultado em 01/06/2024.
- IUPAC (2024). *International Union of Pure and Applied Chemistry. Events*. <https://iupac.org/events/>

- Juaristi, E. & Stefani, H. (2012). Introdução à estereoquímica e a análise conformacional. Porto Alegre: Bookman. Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo.
- Labarca, M.; Bejarano, N. & Eichler, M. L. (2013). Química e Filosofia: Rumo a uma frutífera colaboração. *Química Nova*, 36 (8), 1256-1266. <https://doi.org/10.1590/S010040422013000800027>
- Latour, B. (1999). *Pandora's Hope: Essays on the Reality of Science Studies*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Lacey, H. & MARICONDA, P. R. (2014). O modelo das interações entre os valores e as atividades científicas. *Scientiae studia* 12 (4): 643-68.
- Lewowicz, L. (2016). LEMCO: *Un coloso de la industria cárnica em Fray Bentos, Uruguay*. Montevideo: INAC.
- Liboiron M. (2013). Plasticizers: A Twenty-first-century miasma. In: *Accumulation: The material politics of plastic*. Gabrys, G. Hawkins, M. Michael (Eds). London: Routledge.
- McFarland, M. (1989) Chlorofluorocarbons and Ozone. *Environ. Sci. Techn.*, 23, (10), 1203-1207. <https://doi.org/10.1021/es00068a004>
- Molina, M., Rowland, F. (1974). Stratospheric sink for chlorofluoromethanes: chlorine atom-catalysed destruction of ozone. *Nature* 249, 810-81. <https://doi.org/10.1038/249810a0>
- Muakad, I. B. (2013). Anfetaminas e seus derivados. *Revista da Faculdade de Direito da USP*, 108, p. 545-572.
- Neto, W. N. A. (2009). *Formas de uso da noção de representação estrutural no Ensino Superior de Química*. Tese de doutorado em Educação. Universidade de São Paulo.
- Organização das Nações Unidas. (2019). *Psychotropics Substances 2018: Statistics for 2017*. [https://www.incb.org/documents/psychotropics/technicalpublications/2018/PSY\\_Technical\\_Publication\\_2018.pdf](https://www.incb.org/documents/psychotropics/technicalpublications/2018/PSY_Technical_Publication_2018.pdf)
- Ress, J. (2013). *Refrigeration Nation. A History of Ice, Appliances, and Enterprise in America*. Baltimore: The Johns Hopkins University Press.
- Ribeiro, M. A. P. (2014). *Integração da filosofia da química no currículo de formação inicial de professores. Contributos para uma filosofia do ensino*. Tese de doutorado. Universidade de Lisboa.
- SBQ (2021). Sociedade Brasileira de Química. *Manifestação Pública da SBQ em Relação à Reforma do Ensino Médio*. <https://boletim.sbq.org.br/anexos/manifestacaoSBQ-BNCC-EnsinoMedio.pdf>
-

SBQ (2024). Sociedade Brasileira de Química. *47ª Reunião anual. A centralidade da química na educação do cidadão e na inovação científica e tecnológica.* <https://www.s bq.org.br/47ra/>

Scerri, E. & Ficher, G. (Ed.) (2016). *Essays in the Philosophy of Chemistry.* Oxford: Oxford University Press.

Schummer, J. et al. (2007). *The Public Image of Chemistry.* New Jersey/London: WorldScientific.

Silva, I. et al. (2022). Movimento química pós 2022: construção de um plano de ação para que a química e seus atores impactem a sustentabilidade e soberania no Brasil. *Química Nova*, 45 (4), 497-505. <http://dx.doi.org/10.21577/0100-4042.20170898>

Silva, P. (2002). *Farmacologia.* Rio de Janeiro: Guanabara Koogan.

UNESCO (2011). *International Year of Chemistry.* <https://www.un.org/en/events/chemistry2011/>

Velders, G et al. (2007). The importance of the Montreal Protocol in protecting climate. *PNAS*, 104 (12), 4814-4819. <https://doi.org/10.1073/pnas.0610328104>

Whitehead, A.N. (1978). *Process and Reality.* New York: Free Press.

Whitehead, A.N. (1985). *Science and the Modern World.* London: Free Association Books.

Yarsley, V.E. and Couzens, E.G. (1941). *Plastics.* Middlesex: Pelican.

Zaterka, L. (2023). Desafios e Dilemas da era dos plásticos. In: *Por que confiar nas ciências? Epistemologias para o nosso tempo.* Ivã Gurgel (Ed.) São Paulo: Editora Livraria da Física.

Zaterka, L. & Mocellin (2022). *Ensaio de História e Filosofia da química.* São Paulo: Ideias & Letras.

**Submetido em:** 14/06/2024    **Aceito em:** 05/12/2024    **Publicado em:** 30/12/2024

Periódico organizado pela Sociedade Brasileira de Ensino de Química – SBEnQ

**S**ociedade **B**rasileira  
de **E**nsino de **Q**uímica



Este texto é licenciado pela Creative Commons Attribution 4.0 International License.