

A historicidade do benzeno: a construção de um artefato tecnocientífico sob o olhar dos estudos CTS

RESUMO

Ana Carolina Ribeiro Menezes
Centro Federal de Educação
Tecnológica de Minas Gerais, Belo
Horizonte, Minas Gerais
anaribeirromenezes@outlook.com

Bráulio Silva Chaves
Centro Federal de Educação
Tecnológica de Minas Gerais, Belo
Horizonte, Minas Gerais
brauliosc1@gmail.com

Ildenfonso Binatti
Centro Federal de Educação
Tecnológica de Minas Gerais, Belo
Horizonte, Minas Gerais
ibinatti@cefetmg.br

Investiga-se a historicidade do benzeno, um hidrocarboneto aromático com potencial carcinogênico, considerando-o um artefato tecnocientífico. A metodologia envolveu um trabalho de exploração bibliográfica sobre a história do benzeno, além de um levantamento das legislações brasileiras sobre a substância, o que possibilitou um percurso em três momentos-chave. No século XIX, há uma controvérsia sobre o protagonismo na definição da estrutura do benzeno, entre dois químicos, o alemão August Kekulé (1829-1896) e o austríaco Johann Loschmidt (1822-1895), levando à preterição do último. No início do século XX, a indústria petroquímica entra em cena mais ativamente, mobilizando-o para fins pragmáticos do mercado capitalista. Por fim, abordam-se estudos e mobilizações sobre a toxicidade do benzeno e os impactos nas legislações brasileiras. Conclui-se sobre a importância da historicidade para perceber o benzeno entrelaçado a um conjunto de redes, sujeitos, instituições e complexos industriais.

PALAVRAS-CHAVE: Benzeno. Tecnociência. Estudos Sociais em Ciência e Tecnologia. Historicidade. História da química.

INTRODUÇÃO

Em uma reportagem da revista *Radis*, intitulada “Benzeno sem controle”, tem-se um detalhamento sobre como diversas instâncias regulatórias e a Comissão Nacional Permanente do Benzeno (CNPBz) estavam sendo extintas e os impactos disso no cuidado com os trabalhadores e com o meio ambiente. No texto, a médica Lia Giraldo, que atuou na identificação de diversos casos de leucopenia na década de 1980, em Cubatão/SP, considerado um ponto de inflexão sobre o tema do benzeno, destacou o papel dos coletivos de trabalhadores, como o Sindicato dos Metalúrgicos e o Sindicato da Construção Civil, ambos de Santos, em pautar o tema (TIBURTINO, 2022).

Essa confluência do campo biomédico e da saúde coletiva, além da pressão de outros atores da sociedade civil, não impediu um revés, com uma onda de desregulamentação no governo do presidente Jair Bolsonaro (2019-2022). Esse uso político e econômico não é uma novidade na história do benzeno, instigando alguns problemas. Como a história de uma substância e da própria química se liga aos emaranhados sociais? Como a própria definição da estrutura do benzeno no século XIX também está ligada com as disputas sobre o fazer científico e sobre o poder de impérios europeus no século XIX? E como a indústria petroquímica é um agente definidor das agendas científicas e tecnológicas sobre o benzeno ao longo do século XX?

Este trabalho consiste em uma investigação sobre a historicidade do benzeno, uma substância orgânica, classificada como um hidrocarboneto aromático, líquido, incolor e volátil, além de possuir um aroma adocicado característico (MERCK, 2017). O benzeno é enquadrado como carcinogênico pela *International Agency for Research on Cancer* (IARC), tóxico ao ser humano, podendo causar danos ambientais à flora e fauna (BARATA-SILVA *et al.*, 2014; PEREIRA, 2019). Este hidrocarboneto é um dos constituintes do petróleo, podendo ser encontrado em menores escalas no ambiente. Contudo, a atividade humana é responsável pela contaminação massiva por meio da emissão de vapores desse contaminante na atmosfera. No Brasil, em 2019, a sua produção anual chegou a 858.091 metros cúbicos. Cerca de 7% do benzeno produzido é perdido para o ambiente durante os processos de fabricação, armazenamento, transporte e uso (ANP, 2019; FERREIRA DA COSTA; BARROZO DA COSTA, 2002).

Neste trabalho, foram analisados três momentos importantes que caracterizam a historicidade do benzeno como um fato científico e um artefato tecnocientífico. O primeiro deles, no século XIX, trata a definição da estrutura química, associada ao químico August Kekulé (1829-1865). Na época, Kekulé relatou que sua ideia surgiu em um sonho em que ele visualizou uma serpente agarrada à própria cauda (BENSAUDE-VINCENT; STENGERS, 2023; CARAMORI; OLIVEIRA, 2009). Porém, quando se abre a “caixa-preta”, observa-se que o físico e químico Johann Josef Loschmidt (1822-1895) teria proposto uma estrutura cíclica para o benzeno em 1861, quatro anos antes de Kekulé, não havendo reconhecimento de suas contribuições por parte da comunidade científica.

No segundo recorte, abordam-se as dinâmicas sociais no século XX, momento em que se verificou o papel da indústria petroquímica na difusão do seu uso, tornando-o um artefato tecnocientífico de forma mais bem acabada, condicionado às dinâmicas pragmáticas do mercado capitalista.

Em um terceiro momento da análise, abordaram-se as atuais polêmicas e as mobilizações visando um uso mais seguro, devido à sua alta toxicidade, combinadas com uma agenda de pesquisas que contribui para modificar legislações que variaram em contextos e momentos políticos distintos.

É importante ressaltar que a periodização do composto foi tratada por Costa e Goldbaum (2017) e em outros trabalhos, mas busca-se no texto uma visão mais ampla e global sobre a historicidade do benzeno, tendo a ancoragem dos estudos de Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS) e da história da ciência. Partindo dos trabalhos de Bensaude-Vincent (2013), Bensaude-Vincent e Stengers (2023), Latour (2001), Maia (2017), além de outros, busca-se dar consistência ao argumento central: a história de uma substância pode revelar diversos emaranhados sociais.

DISCUSSÃO TEÓRICA: O BENZENO E A QUÍMICA ENTRE OS ESTUDOS CTS E A HISTÓRIA DA CIÊNCIA

Realiza-se um percurso que visa compreender como o benzeno é uma substância que pode ser considerada um artefato tecnocientífico, envolvido em uma rede sociotécnica. A ideia de artefato tecnocientífico enfatiza como a substância está nos emaranhados sociais, desde seu processo de estruturação no século XIX. Assim, a historicidade do benzeno se faz na forma de percebê-lo: em como ele transita como um objeto na química, sendo estudado e sintetizado, como pelas diversas instâncias sociais, da indústria petroquímica à indústria cosmética, da toxicologia à saúde coletiva, fortemente condicionado pelo seu valor econômico na sociedade capitalista. A partir dos estudos sobre os efeitos do benzeno na saúde humana e no meio ambiente, há uma nova chave de leitura que o qualifica também por outros fatores, menos positivos, ao ser ressaltada a sua atuação carcinogênica. Nesse outro veio social, ele foi reconfigurado, enquanto diversos campos científicos vão se aliar com outros atores sociais, como os movimentos sindicais, empenhados na transformação da exposição ao benzeno em um problema de saúde pública no Brasil. Como um artefato tecnocientífico, ele também carrega os fins pragmáticos postos para a produção científica e tecnológica. Um utilitarismo que não é em si uma novidade, por estar no alvorecer da Modernidade, mas é potencializado no século XX, chamado por alguns de “século das tecnociências” (BONNEUIL; PESTRE, 2015).

Os estudos CTS e a história da ciência são importantes para a percepção de tais entrelaçamentos sociais, quando se trata de investigar uma substância na história, seus vínculos com as dinâmicas sociais, em como ela agencia e é agenciada. A química é um campo fértil para esse movimento (BENSAUDE-VINCENT; STENGERS, 2023). A própria composição da chamada “química moderna” demonstra como a produção científica é tributária de valores culturais no tempo. Assim, a passagem da alquimia para a dita “química científica” é um elemento importante das relações entre os aspectos materiais e os religiosos/culturais, mas essa mistura vai mais além, trazendo outras interseções. O próprio uso de alguns termos e linhas divisórias tem sido problematizado, como química “moderna” e “científica”, vistos como resultado de autovisões dos sujeitos e da sua tentativa de forjar uma imagem de si e do seu campo de estudos. Há uma historiografia que demarcou o papel de grandes personagens – Georg Ernst Stahl (1659-1734), Antoine-Laurent Lavoisier (1743-1794), Robert Boyle

(1627-1691), Louis Pasteur (1822-1895) e outros –, fazendo deles figuras demarcadoras das transformações na química, negligenciando percursos mais tortuosos que esbarram em mobilizações que são muito mais coletivas do que individuais, colocando à prova o lugar de autoridade de cientistas, que viram na necessidade de aproximação junto a outros grupos, para além da academia, na intenção de legitimar certos fatos científicos, instituições e o resultado provisório de suas pesquisas (LATOURET, 2001). Desse modo, é importante não aprisionar a química a um único modelo histórico, mas perceber como certos nomes se misturam a outras perspectivas macro e microsociais. O benzeno é um caso exemplar disso, especialmente no Brasil.

Mais recentemente, os estudos CTS também significam uma ferramenta de esteio teórico para atividades no ensino de química, sobretudo na educação básica, na relação entre a teoria e a prática, na proposição de sequências didáticas, mostrando a participação da sociedade na construção dos conhecimentos químicos. Alguns trabalhos têm indicado como o espaço da escola é um território importante para perceber essa outra química, não neutra, indicando como docentes, alunas e alunos também atuam na produção dos saberes químicos (ADAMS, NUNES, 2023; OLIVEIRA; ALVIM, 2020).

Neste artigo, o benzeno é entendido na categoria de não humano e na sua capacidade de provocar um “agenciamento material e recíproco” (MAIA, 2017). O conceito de não humano é controverso e foi o centro de várias contendas. Atualmente, a ideia de não humano tem sido importante para visibilizar a historicidade das coisas, incluindo, também, animais, plantas e eventos. É nesse lugar que se compreende o benzeno. De uma substância na sociedade em processos de interação, produzindo certas respostas e afetações a partir dos estímulos humanos, sobretudo na atividade científica e tecnológica em torno dele, na primazia da linguagem como decodificadora dessa relação. De acordo com Maia (2017, p. 452): “Precisamos de outra possibilidade para trazer as coisas do mundo, animadas e inanimadas, para a cena de produção dos saberes, tanto o da ciência quanto o de qualquer outra forma de saber. Somente assim poderemos fazer uma história da ciência com sujeito e com objetos”.

Assim, o presente texto segue a recomendação de Bensaude-Vincent e Stengers (2023), para o investimento em uma certa história “global” da química, que não desconsidera o local, buscando um tempo longo para a compreensão de processos. Desse modo, a historicidade do benzeno possibilita perceber uma história da química em andamento, em que ela reconfigura sua identidade e se faz como um território que sintetiza diversas demandas sociais:

De igual modo, vale também a pena reativar o gênero tradicional de uma história da química, além das histórias locais – monográficas ou limitadas a um período. Uma vez postulado que não há uma essência atemporal da química, nem um objeto transcendente que se desdobraria ao longo dos séculos, somente uma história global, em longa duração, permite compreender todas essas aventuras, intelectuais ou industriais, que por um momento atribuíram à química um formato, uma identidade. Bem-sucedidas ou fracassadas, essas experiências, consideradas em conjunto, assumem um novo significado e constituem a química como um sujeito histórico (BENSAUDE-VINCENT; STENGERS, 2023, p. 19).

METODOLOGIA

A metodologia de trabalho consistiu em pesquisa bibliográfica exploratória em sites como *Scielo*, *Google Acadêmico* e em sites oficiais, nos meses de fevereiro a dezembro de 2021. Foi realizado um levantamento com base nos descritores relacionados ao tema: “benzeno”, “artefato tecnocientífico”, “legislação”, “história do benzeno”, “Kekulé”, “Loschmidt”, “toxicidade benzeno”. Foram utilizados os descritores em inglês: “Benzene”, “Cancer benzene”, “history of benzene”, “structure of benzene”. Os critérios para inclusão foram: título ou resumo relacionado ao tema; artigos em inglês e português que discutiam sobre o histórico desta substância, buscando fatos importantes, os atores envolvidos, aspectos da sua toxicidade.

Foram levantados, também, teses, dissertações e livros sobre a história da química que pudessem entrecruzar com a história do benzeno. Além disso, foi realizado um trabalho de investigação e organização da legislação de órgãos reguladores em sites oficiais. Por meio dessa pesquisa, revisão bibliográfica e coleta e organização da legislação, buscou-se traçar o desenvolvimento e o percurso histórico até sua difusão, além dos usos da substância e os marcos que regulam sua presença no meio ambiente e a exposição humana no Brasil.

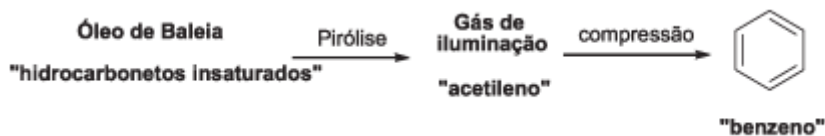
Assim, os achados foram cruzados e confrontados com os referenciais teóricos, buscando compor essa história do benzeno e da química de forma mais global.

DESENVOLVIMENTO (RESULTADOS E DISCUSSÕES)

A construção do conhecimento científico sobre o benzeno no século XIX

Os estudos sobre o benzeno e as ações antrópicas têm início em 1825, quando Michael Faraday (1791-1867), químico e físico britânico, obteve o composto ao comprimir o gás de iluminação, produzido a partir da decomposição do óleo de baleia, pela atuação de temperaturas e pressões controladas em um processo conhecido como pirólise, figura 1 (CARAMORI; OLIVEIRA, 2009).

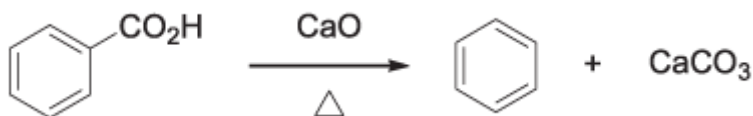
Figura 1 - Etapas de obtenção do benzeno a partir do óleo de baleia



Fonte: CARAMORI; OLIVEIRA, 2009, p. 1872.

Em 1834, o químico alemão Eilhard Mitscherlich (1794-1863) realizou a síntese utilizando como materiais de partida o ácido benzoico ($C_7H_6O_2$) e a cal virgem (CaO) sob aquecimento, obtendo como produtos o benzeno e carbonato de cálcio ($CaCO_3$), figura 2. Também foi responsável por determinar sua fórmula molecular (C_6H_6) (MARTÍN; SCOTT, 2015; CARAMORI; OLIVEIRA, 2009).

Figura 2 - Reação de obtenção do benzeno a partir do ácido benzoico



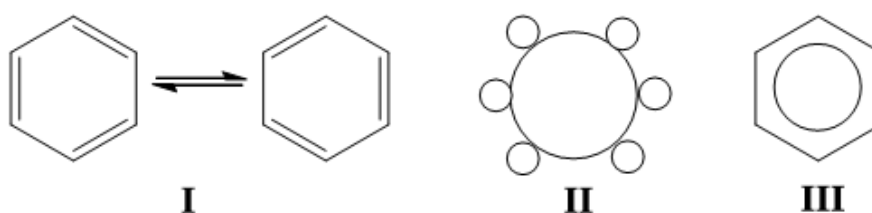
Fonte: CARAMORI; OLIVEIRA, 2009, p. 1872.

Em 1845, o químico britânico Charles Mansfield (1819-1855), que era um pesquisador orientado pelo químico alemão August W. Hofmann (1818-1892), isolou o benzeno a partir do processo de destilação seca da hulha/carvão mineral (CARAMORI; OLIVEIRA, 2009). Em 1849, as usinas siderúrgicas europeias deram início à sua produção em escala industrial, por meio da destilação seca do carvão mineral, resultando na formação do benzeno, tolueno e xileno, o BTX siderúrgico (MOREIRA; GOMES, 2011).

No século XIX, os químicos “estruturalistas”, que acreditavam que os átomos se organizam formando estruturas químicas, desenvolveram diversos trabalhos que almejavam desvendar a estrutura química do benzeno. Podemos destacar o físico e químico austríaco Johann Loschmidt (1822-1895), os químicos alemães August Kekulé (1829-1896), Adolf Claus (1838-1900), Albert Ladenburg (1842-1911) e Adolf von Baeyer (1835-1917), além dos químicos britânicos James Dewar (1842-1923) e Henry Armstrong (1848-1937).

Em 1861, Loschmidt propôs o que seria a primeira estrutura cíclica para o benzeno, por meio da publicação de um livreto intitulado *Constitutions-Formeln der organischen Chemie in geographischer Darstellung (Fórmulas constitucionais da química orgânica numa representação geográfica, em uma tradução livre)*, publicado de forma privada. Pode-se observar, na figura 3, que a estrutura proposta por Loschmidt (II) tem similaridades com a desenvolvida por Kekulé (I), que defendia a existência de um equilíbrio entre as duas formas do benzeno (WISWESSER, 1989). Essas semelhanças podem ser notadas através da comparação feita entre as duas primeiras e a estrutura atual (III).

Figura 3 - Estrutura proposta por Kekulé, Loschmidt e a atual



Fonte: Elaboração dos autores

O químico estadunidense William Joseph Wiswesser (1914-1989) publicou um artigo na revista *Aldrichimica Acta*, defendendo que Loschmidt, teria representado, em 1861, a primeira estrutura do benzeno. Wiswesser concluiu que a razão para desconhecimento desse trabalho seria a baixa circulação de Loschmidt nos grandes círculos da química, o que é um argumento contundente. Segundo ele, o primeiro químico a reconhecer a importância da publicação de Loschmidt, cinquenta anos depois, foi o alemão Richard Anschutz (1852-1937). Anschutz era aluno de Kekulé e tomou conhecimento do trabalho de Loschmidt a

partir de uma breve citação realizada por seu professor em Paris, em 1865. Ao buscar por mais informações, Anschutz descobriu uma descrição sucinta na referência de Hermann Kopp (1817-1892), um químico alemão, professor e amigo de Kekulé. Ele conseguiu obter um folheto de Loschmidt e cogitou se Kekulé também havia lido ou tomado conhecimento a respeito do trabalho de Loschmidt através de Herman Kopp (WISWESSER, 1989).

Desse modo, Loschmidt foi reconhecido por suas contribuições para física e pela descoberta do número de moléculas contidas em um mililitro de gás ideal “Número de Loschmidt”, mas não foi dada a devida importância às suas contribuições na química no caso do benzeno.

Bruno Latour ajuda a explicar esse fenômeno por meio do modelo de translação. No texto “O fluxo sanguíneo da ciência”, no seu livro, *A esperança de Pandora* (LATOURE, 2001), o autor propõe as cinco peças de um circuito necessário para a constituição dos fatos científicos, sendo elas: a mobilização do mundo, a autonomização, as alianças, a representação pública e os vínculos e nós. O primeiro critério, a mobilização do mundo, diz respeito aos meios pelos quais os não humanos são progressivamente arrolados no fazer científico por meio de várias mediações, onde os “cientistas fazem os objetos girar em torno deles”. A autonomização trata-se da importância das associações e de instituições que mantêm os pares em contato, tornando-se importantes na necessidade de convencer os outros sobre os fatos científicos. O interesse do cientista em inserir sua pesquisa num contexto suficientemente amplo e seguro, para garantir a existência e continuidade, é chamado pelo autor de alianças, importantes para que o trabalho científico se desenvolva e se consolide, mantendo o público interessado. Já a representação pública aponta para como os cientistas devem realizar a divulgação de seus trabalhos, intrapares e para o público geral, uma vez que a socialização de novos objetos poderia abalar o sistema normal de crenças e opiniões, requerendo, nesse momento, convencimento e persuasão. Por fim, os nós ou vínculos, interconectam esse sistema, cujo objetivo é manter junto os pontos citados anteriormente (LATOURE, 2001).

Portanto, mesmo que Loschmidt tenha supostamente proposto corretamente a estrutura do benzeno, as condições da produção científica, analisadas segundo os conceitos de Latour (2001), dificultaram a consolidação de sua proposta como um fato científico reconhecido. Seus espaços institucionais tornavam o seu fluxo científico bastante frágil, se comparado ao de Kekulé, por exemplo.

Argumenta-se que o não reconhecimento de Loschmidt seja resultado de seu próprio contexto social, dos obstáculos às translações. Ele era filho de camponeses de origem humilde, sua personalidade era tida como tímida e discreta, nunca tendo viajado para fora dos domínios do Império Austro-Húngaro. Ele não tinha, ainda, publicado em grandes jornais de química ou palestrado em grandes encontros internacionais (WISWESSER, 1989). Ou seja, estava, naquele momento, fora dos grandes círculos científicos da época, o que lhe dificultava compor um circuito de mobilizações.

Em contraste, Kekulé dispunha de mais elementos de mobilização. Kekulé era um professor famoso nos coletivos da química do século XIX, um grande palestrante e autor de textos com ampla circulação (BENSAUDE-VINCENT; STENGERS, 2023; TOMA, 2014; WISWESSER, 1989). Tendo acesso aos

instrumentos, às associações e instituições, a um vasto público interessado, além de uma divulgação científica apropriada, ele pôde constituir uma rede sólida. Por consequência, a teoria proposta por Kekulé, em 1865, foi considerada um fato científico, tida como a mais próxima ao modelo atual da fórmula estrutural do benzeno, apesar de defender a existência de um equilíbrio entre as duas formas do ciclo-hexatrieno, como pode ser visualizado na figura 3. O trabalho desenvolvido por Kekulé, envolvendo os ácidos benzóico e salicílico, proporcionou diversos avanços nos conceitos da química, em relação às estruturas dos compostos e do fenômeno da aromaticidade (CARAMORI; OLIVEIRA, 2009). Em seu discurso, após receber uma apreciação honorária da Sociedade Alemã de Química, em 1890, vinte e cinco anos depois de sua proposição, ele descreve como teve a ideia da estrutura do benzeno num episódio que, posteriormente, ficou conhecido como o “sonho de Kekulé”:

[...] Estava sentado escrevendo meu manual, mas o trabalho não progredia; meus pensamentos estavam dispersos. Virei minha cadeira para a lareira e adormeci. Novamente os átomos saltavam à minha frente. Desta vez, os grupos menores permaneciam modestamente no fundo. Meu olho mental, aguçado pelas repetidas visões do gênero, discernia estruturas mais amplas de conformação múltipla; longas fileiras às vezes mais estreitamente encaixadas, todas rodando e torcendo-se em movimentos de cobra. Mas veja só! O que é aquilo? Uma das cobras havia agarrado a própria cauda e a forma rodopiava de modo a debochar ante meus olhos. Como se à luz de um relâmpago, despertei; e desta vez, também passei o resto da noite tentando estender as consequências da hipótese... (KEKULÉ apud CARAMORI; OLIVEIRA, 2009, p.1872-1873).

Segundo o filósofo e químico francês Bachelard (2001, p.20), “[...] a substância é dotada do ato de nos tocar”, impossibilitando ser indiferente à resistência de uma matéria em ser transformada. Para ele, a imaginação criadora e a vontade emergem à medida que a matéria estimula a psique do indivíduo, levando-o a reagir e a transformá-la com sua força. Assim, as metáforas desempenham um papel crucial no processo de imaginação criadora, atuando como uma ponte entre o imaginário e a ação individual sobre a matéria (SILVA, 2009). Kekulé nos apresenta duas metáforas importantes para a criação de sua teoria. A primeira delas relaciona seu olho mental como a capacidade racional e intuitiva de discernir e sintetizar as informações contidas no sonho. A segunda metáfora relaciona os formatos nos quais as cobras estão dispostas, semelhante às formas estruturais dos compostos químicos, onde uma delas encontra-se rodopiando agarrada à própria cauda, remetendo ao símbolo mítico ouroboros. Este símbolo é advindo da noção de infinito elaborada pela alquimia. A prática alquimista buscava a expansão da consciência a fim de alcançar uma panaceia, ou seja, a cura de todos os males, e, conseqüentemente, a imortalidade (NEVES, 2021). Portanto, sua hipótese não é feita por indução, ou seja, não ocorre por meio de uma construção objetiva de fatos, gerando uma determinada lei ou princípio científico comum a todos os que observem tais fatos (GURGEL; PIETROCOLA, 2011). Por outro caminho, é feita por um processo de imaginação que se deu através da resistência do benzeno em ser transformado em uma

substância com estrutura definida. É importante ressaltar que a imaginação não compromete o conhecimento científico. Após ser tocado e provocado pela substância, o imaginário de Kekulé cria um sistema simbólico baseado em sua percepção subjetiva da realidade. Ao utilizar a racionalidade e a intuição para organizar e desenvolver um pensamento conceitual, baseado na relação entre o objeto/material e o simbólico, ele consegue proferir afirmações sobre a estrutura do benzeno. Sendo assim, ao dizermos que a estrutura foi “descoberta” por Kekulé desconsideramos o papel subjetivo do processo, assumindo que a estrutura já estaria pronta e apenas seria necessário a construção de fatos que levassem a essa conclusão. Ao utilizarmos os termos criação ou invenção da estrutura, considera-se um papel ativo do cientista que utiliza a subjetividade como ferramenta para atribuir características ao fato científico (GURGEL; PIETROCOLA, 2011).

Nota-se como a utilização de uma narrativa colabora para que a “descoberta” de Kekulé seja também mitificada, assim como ocorreu em outros eventos da ciência ao longo da história. Há no mito da “descoberta” o apagamento de elementos fundamentais, como os erros, as controvérsias e disputas em torno do fato. Nesse sentido, ela é anti-histórica e ajuda a criar a “caixa-preta”.

Contrários à vertente de químicos “estruturalistas”, estavam os “não-estruturalistas”, aqueles químicos que repudiavam a ideia de arranjos atômicos, provocando controvérsias no campo. Entre os não estruturalistas, destaca-se Kolbe, que, entre os anos de 1865 e 1884, deixou registrado diversas críticas a respeito da teoria de Kekulé:

A teoria do benzeno de Kekulé, que é muito belamente criada e inventada, mas não descoberta como tudo o que segue dele, mais cedo ou mais tarde será derrubada. Em dez anos estará tão pouco discutida quanto a teoria de Gerhardt, agora ignorada por muitos anos. [...] Os estruturalistas estão de acordo que os arranjos atômicos são invisíveis ao olho físico, mas disseram-me que nós devemos usar o nosso “olho mental”. Tal “visão profética”, não me foi dada. [...] Eu considero a teoria de anel, apenas como o tipo mais avançado de teoria, ela é efêmera entre as hipóteses químicas recentes, e seus princípios podem ser incabíveis e errôneos, sem falar que está planejada ingenuamente... estou bem convicto, para cegar os químicos mais novos... (KOLBE apud CARAMORI; OLIVEIRA, 2009, p. 1.873)

Em 1910, Paul Pascal (1880-1968), físico-químico francês, desenvolveu o conceito de suscetibilidade magnética, como uma capacidade aditiva dos átomos e das ligações que constituem as moléculas, essas propriedades foram importantes para o desenvolvimento de futuras reações e utilidades para benzeno (CARAMORI; OLIVEIRA, 2009).

No início do século XX, Linus Pauling (1901-1994), químico estadunidense, estabeleceu que a existência de duas ou mais estruturas eletrônicas, para o mesmo composto, com energias aproximadas, faria com que a estrutura real não fosse nenhuma das representadas e, sim, um híbrido delas. Tal como visto na

estrutura III, da figura 3, excluindo a hipótese de Kekulé sobre a existência do equilíbrio entre as duas formas do benzeno (FREIRE; PESSOA; BROMBERG, 2011).

O contexto europeu do século XIX e início do século XX foi marcado pelo período pós-revolução industrial, com a ascensão da classe burguesa e do capitalismo de viés liberal. Os impérios europeus estavam em disputas internas, algumas marcadamente nacionalistas, e outras externas, no estabelecimento de áreas de domínio na própria Europa e em outros continentes (HOBSBAWM, 2001; 2015). Em 1866, a Guerra Austro-Prussiana resultou no domínio da Prússia de territórios que correspondem na atualidade à Alemanha. Esse cenário também foi marcado pelo avanço de um racionalismo instrumentalizado no âmbito da ciência e da tecnologia. Há um cientificismo que serviu à produção do conhecimento e nas formas de ver e tentar governar o mundo, hierarquizar as raças humanas e pensar o progresso social baseado na ideia de suposta neutralidade e em uma objetividade absoluta.

Tal panorama afeta a química, que buscava sua demarcação como campo científico, com o advento do laboratório como seu espaço privilegiado, notadamente a partir da chamada revolução pasteuriana, no final do século XIX. Arelado a isso, as disputas travadas na Europa durante o Oitocentos pelos químicos estruturalistas, como Kekulé, e os não estruturalistas, como Kolbe, assim como a preterição da teoria de Loschmidt nos auxiliam a refletir como a sociedade está entrelaçada a um fato científico. Tais controvérsias estão dentro desse quadro de disputas por poder e influência, não há um descolamento. A preponderância de alguns círculos em detrimento de outros é também o sintoma de como fatos científicos estão emaranhados à política internacional oitocentista europeia. Tais contingências históricas ficam mais nítidas ao abrirmos a “caixa-preta” do benzeno.

A indústria petroquímica entra em cena: o benzeno como um artefato tecnocientífico

Os complexos industriais petroquímicos são parte inerente da história contemporânea. Do século XIX aos dias atuais, as dinâmicas sociais tornaram o petróleo uma substância produtora de agenciamentos que redefiniram a macropolítica em escala global. Como um objeto privilegiado da ciência, a economia se tornou um fator cognitivo fundamental para a sua compreensão. Da montagem de impérios no século XIX até as disputas econômicas envolvendo Europa, Estados Unidos e os diversos países do Oriente, a América Latina e outros territórios, verifica-se como a substância teve estatuto de centralidade, das motivações bélicas ao cotidiano na vida humana. Há, assim, a criação de um grande aparato científico que vai da prospecção aos diversos artefatos que passam a compor a hipertecnologia dos complexos industriais petroquímicos (TORRES, 1997).

No Brasil, em 1941, ocorreu a inauguração da Companhia Siderúrgica Nacional (CSN) em Volta Redonda/RJ. Nesse tipo de indústria, se faz a coqueificação pela submissão do carvão à destilação seca, formando o coque e vapores ricos em benzeno. No processo, o benzeno é tido como um produto secundário (MILANEZ; PORTO, 2009). Em conjunto, inaugura-se a primeira fábrica de benzeno no Brasil, que fazia a utilização do vapor obtido na produção do coque

para a fabricação dessa substância, seguido pela posterior ampliação do parque siderúrgico no país, gerando um aumento da sua produção e, conseqüentemente, da exposição à substância.

O setor petroquímico se expandiu rapidamente e recebeu grande incentivo por parte dos governos brasileiros, do nacional-desenvolvimentismo dos anos 1950 ao autoritarismo da ditadura empresarial-militar na década seguinte. Um ponto comum é como o setor visou a aceleração do processo de industrialização, a competitividade, o valor de mercado e a vasta variedade de produtos e insumos que poderiam ser produzidos a partir do petróleo. Assim, a partir dos anos 1960, houve um aumento elevado de produção e do uso do benzeno no Brasil. Em 1960, o consumo e a produção deste hidrocarboneto aromático eram de 5.720 toneladas e a importação de 20 toneladas. Entre 1970 e 1980, o consumo desta substância chegou a 335.225 toneladas, sendo 308.528 toneladas produzidas e 26.717 toneladas importadas. Portanto, o consumo de benzeno no Brasil aumentou aproximadamente sessenta vezes neste período (CÁRIO, 1997; TORRES, 1997; COSTA, 2009).

O século XX foi derradeiro para colocar em xeque o mito da ciência neutra. Assim, a tecnociência se une com interesses militares, nacionais e do próprio mercado, sobretudo durante e no pós-Segunda Guerra Mundial. Percebe-se que a composição de regimes, de diferentes espectros, inclusive autoritários, torna-se inerente aos dispositivos tecnocientíficos, o que significa dizer que eles contribuem para moldar tais projetos societários: assim, a ciência e a tecnologia contribuem para forjar visões de mundo, como no nazifascismo (SARAIVA, 2016). Identifica-se a existência de um papel-chave da ciência na ampliação do poderio nacional e estratégico dos Estados em relação aos caminhos tomados pela ciência. Mais recentemente, com o neoliberalismo, o estilo empreendedor do mundo dos negócios penetra naquele que deveria ser o mundo livre do conhecimento, potencializando o pragmatismo, intensificando uma racionalidade instrumental das produções científicas e tecnológicas (BENSAUDE-VINCENT, 2013).

No caso do benzeno, pode-se afirmar que seu desenvolvimento e sua gênese foram baseados na busca pela ampliação de seus usos sociais, tornando a substância cada vez “mais útil” à vida humana, em uma relação de quase dependência. É o que Castelfranchi (2008) aponta sobre os dispositivos que envolvem a tecnociência, em que mercado torna o uso de certos artefatos inevitável, por meio de discursos que circulam em diferentes esferas da sociedade.

A tecnociência não se trata apenas da subordinação do conhecimento aos interesses práticos e econômicos, mas é um processo histórico que transforma a natureza e a sociedade em um cenário experimental (BENSAUDE-VINCENT, 2013). Assim, com o desenvolvimento do conhecimento, das aplicações e, conseqüentemente, da ampliação da presença ambiental do benzeno, sem uma consensualização mínima de seus efeitos no organismo, transforma-se a natureza e a sociedade nesse cenário experimental. Significa dizer que observamos na prática quais são os efeitos desta substância no meio ambiente e em relação à saúde. Com casos de intoxicação pelo benzeno no mundo torna-se cada vez mais preocupante, sendo objeto de novas controvérsias. No presente trabalho, argumenta-se que a proeminência dessas discussões, a partir da década de 1980, especialmente no Brasil, inaugura um terceiro momento da periodização sobre sua historicidade aqui proposta. Mesmo com o foco em várias mobilizações sobre

o benzeno como problema de saúde pública, percebe-se uma certa fragilidade no que diz respeito às legislações que regulam a exposição ao composto, explicitando seu grau de importância econômica, aspecto que se coloca como prioritário.

A historicidade do benzeno a partir de alguns marcos legais no Brasil

No período entre 1960 e 1982, existe uma rápida ampliação da produção e utilização do benzeno motivada, sobretudo, pelo seu uso como solvente. O benzeno torna-se presente no cotidiano da população brasileira e ocorrem os primeiros registros de intoxicação ocupacional. Em 1982, o Ministério da Saúde e o Ministério do Trabalho proibem a sua utilização como solvente (COSTA; GOLDBAUM, 2017).

Após a proibição, ocorreu uma redução da quantidade de benzeno encontrados nos produtos acabados. Porém, a utilização industrial persiste, existindo diversos relatos de solventes industriais com teores de benzeno superiores a 1%. Esse fato pode ser explicado pela inexistência de mecanismos regulatórios de verificação de teores dessa substância, tanto nos solventes industriais quanto nos produtos acabados, demonstrando a negligência do Estado aliada aos interesses da indústria. Concomitantemente, ocorrem pressões de setores diversos, como sindicais, em relação à saúde dos trabalhadores e à exposição às substâncias químicas (COSTA; GOLDBAUM, 2017).

Uma série de denúncias realizadas pelo Sindicato dos Metalúrgicos de Santos/SP expôs diversos casos de leucopenia em trabalhadores da Companhia Siderúrgica Paulista (COSIPA), em Cubatão/SP, na década de 1980 (AUGUSTO; NOVAES, 1999; CAMPOS, 2017). Em seguida, o Sindicato dos Trabalhadores da Construção Civil de Santos/SP expôs diversos outros casos de intoxicação por benzeno em trabalhadores da empresa. As denúncias tomaram proporções nacionais e propiciaram o descobrimento de novos casos em outras empresas siderúrgicas, petroquímicas, indústrias químicas, refinarias de petróleo e usinas produtoras de álcool anidro. No caso das usinas de álcool, o benzeno era utilizado no processo de desidratação, fazendo com que mais de três mil trabalhadores fossem afastados de seus empregos por benzenismo, termo empregado nos casos de sinais, sintomas e complicações ocasionados pela exposição aguda ou crônica ao benzeno (FUNDACENTRO, 2023).

Entre os anos de 1982 e 1994, foram registradas doze novas regulamentações, além de seminários que buscavam qualificar os riscos à saúde relacionados à exposição ao composto e à definição dos procedimentos de diagnóstico e acompanhamento dos trabalhadores atingidos (COSTA; GOLDBAUM, 2017).

Tais normas foram fundamentais para o mapeamento das alterações hematológicas, possibilitando a utilização do fenol urinário, principal metabólito do benzeno, como biomarcador. Dessa forma, para a comprovação da exposição ocupacional, seria necessário que os trabalhadores fossem expostos a níveis superiores a 5 ppm durante jornadas de trabalhos de oito horas. Porém, essa técnica possui limitações, pois alguns tipos de alimentos podem gerar a presença deste biomarcador em indivíduos que não foram expostos ao benzeno (SANTOS *et al.*, 2017). Esses dados demonstram falhas na garantia da saúde do trabalhador, visto que, além de não haver consenso sobre os níveis de exposição seguros à

saúde humana, existem dificuldades na comprovação da exposição. Dessa forma, as regulamentações asseguram os interesses industriais que, ao utilizar a substância, geram exposições ocupacionais que podem não ser comprovadas (COSTA; GOLDBAUM, 2017).

A Portaria nº 34, do Ministério do Trabalho e Emprego (MTE), de 2001, inclui o ácido fenil mercaptúrico como indicador biológico para avaliar a exposição ocupacional ao benzeno (MENDES *et al.*, 2017). Esse biomarcador demonstra alta especificidade, mas apresenta uma baixa concentração na urina, além do tabagismo ser um fator de confundimento (SANTOS *et al.*, 2017).

Apenas em 1994, a Portaria nº 3, do Ministério do Trabalho e Emprego, reconheceu o benzeno como carcinogênico. Em 1995, coordenada pela Secretaria de Segurança e Saúde no Trabalho, foi firmado o Acordo Nacional do Benzeno. Um dos desdobramentos deste acordo foi a criação da Comissão Nacional Permanente do Benzeno (CNPBz), uma comissão tripartite, composta por representantes dos trabalhadores, das instituições de saúde e segurança e das empresas. Foi pactuado o Acordo Sobre o Benzeno, estabelecendo o Valor de Referência Tecnológico ponderado pelo tempo (VRT-MTP), sendo 2,5 ppm para siderúrgicas e 1,0 ppm para outras indústrias (FUNDACENTRO, 2023).

As legislações atuais impedem o comércio de produtos acabados que contenham benzeno em sua composição, com exceção das gasolinas Comum C e Premium C., possuindo limite de 1% de volume de benzeno permitido, não havendo nenhuma restrição específica ou advertência quanto à sua manipulação (ANP, 2020). Nesse caso, há um potencial de contaminação de frentistas e da população em geral, que inala o vapor exalado pela gasolina dos veículos com motores de combustão interna, além da possibilidade de contaminação direta pelo contato com o produto (MENDES *et al.*, 2017).

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), por meio da Resolução nº 396/2008, de 3 de abril de 2008, define limites de concentração do contaminante em água subterrânea para consumo. Porém, em 2005, foram registrados que 20 a 30% dos 30.000 postos de armazenamento e distribuição de combustíveis possuíam vazamentos pequenos e contínuos, decorrentes do envelhecimento de seus tanques, causando contaminações em lençóis freáticos, em alguns casos chegando a ultrapassar os limites definidos, propiciando a ingestão do contaminante por via oral da população em geral (BARATA-SILVA *et al.*, 2014).

O mercado automobilístico brasileiro, a partir de 2003, teve crescimento intenso, favorecido também por medidas governamentais. Em 2004, o país tinha um veículo para cada 8,2 habitantes, e, em 2013, chegou a um veículo para cada 5,1 habitantes. Como consequência, todas as cidades brasileiras têm pelo menos um posto de venda de combustível. Em 2010, foi estimado a existência de cerca de 184.733 frentistas no país, distribuídos em 39.450 postos de revenda de combustíveis. A Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis informou, por meio da publicação do Anuário Estatístico de 2021, a existência de 41.808 postos revendedores de combustíveis em 2020, implicando em um acréscimo no número de frentistas expostos aos vapores de gasolina e consequentemente ao benzeno (ANP, 2021; CAMPOS *et al.*, 2019; PEREIRA, 2019).

É evidente que ocorreu uma certa retração dos níveis de contaminação e adoecimento por exposição ocupacional, após o reconhecimento da substância como carcinogênica e sucessivas regulamentações. Porém, ainda existe uma fragilidade a respeito da coleta de informações de exposição do ponto de vista quantitativo. Um balanço feito em empresas com possibilidade de exposição, demonstra a não homogeneidade de dados, devido à utilização de diferentes metodologias em suas avaliações. Nessas avaliações, um dos padrões de controle mais utilizados como biomarcador é o fenol urinário. É importante ressaltar que as avaliações ambientais foram feitas de formas muito pontuais (COSTA; GOLDBAUM, 2017).

Portanto, essa fragilidade na legislação, coloca em xeque o conceito de segurança química, um termo global abordado pela Organização Mundial da Saúde (OMS), que consiste na utilização consciente das substâncias e produtos químicos com vistas à proteção da saúde humana e do meio ambiente (CONASQ, 2016). As lacunas quanto ao mecanismo de ação tóxica no organismo e estudos científicos que evidenciem danos à saúde em níveis de exposição inferiores a 1 ppm apontam para se refletir sobre a necessidade de alterações na legislação a respeito do monitoramento de ambientes com baixa concentração de benzeno. Porém, os acordos que estabelecem os limites atuais sofrem influências de interesses político-econômicos, resultando na adoção de medidas que, muitas vezes, não são pautadas por estudos científicos. Há uma ênfase na diminuição da exposição ocupacional e não ocupacional que seja atingível do ponto de vista tecnológico e, de certa forma, que não afete o lucro obtido por meio da utilização do benzeno (MENDES *et al.*, 2017).

Durante o governo Bolsonaro, mais especificamente em 21 de agosto de 2019, a Secretaria Especial da Previdência e do Trabalho, por meio da portaria nº 972, extingue a CNPBz (FUNDACENTRO, 2023; TIBURTINO, 2022). Nesta Portaria, também foram desarticuladas outras 70 comissões e iniciativas voltadas à vigilância, saúde e segurança, como resultado direto da falta de fiscalização e do monitoramento do nível de exposição do trabalhador (BRASIL, 2019).

Entendendo a importância dessa comissão para a saúde do trabalhador e a partir de pressões da sociedade civil, o governo Lula reconstituiu a CNPBz, durante a 10ª reunião extraordinária da CTPP, ocorrida em 10 de julho de 2024. Segundo Rogério Araújo, diretor do Departamento de Segurança no Trabalho da Secretaria de Inspeção do Ministério do Trabalho e Emprego do Trabalho: “A reconstituição da comissão do benzeno é crucial para melhorar o ambiente de trabalho e garantir a saúde dos trabalhadores, evitando adoecimentos” (BRASIL, 2024).

No quadro 1, há uma síntese das legislações e mobilizações sociais compiladas na pesquisa. A partir dos dados, é importante perceber como a sociedade é instada a outros olhares para o benzeno, que ultrapassem a fronteira do pragmatismo industrial. As alterações legais são um símbolo de como certas ideias, como a do potencial carcinogênico do benzeno, necessitam de várias mobilizações sociais que fazem com que o laboratório seja operado como uma representação do mundo. A pactuação sobre o benzeno e a criação da Comissão Nacional Permanente do Benzeno (CPNBz), em 1995, são um ponto de inflexão bem-sucedido desses movimentos em torno da construção de um problema de saúde pública. Porém, a sua extinção, em 2019, demonstra o grau de provisoriedade de certos direcionamentos. Mesmo que durante mais de duas décadas houvesse uma deliberada confluência entre grupos de cientistas,

movimentos sindicais e outros atores da sociedade civil, as políticas do governo, atreladas aos interesses econômicos, resultaram em uma onda de desregulamentação de várias políticas públicas, dentre as quais podemos destacar aquelas relacionadas ao benzeno.

Quadro 1 - Síntese das legislações e mobilizações brasileiras que envolvem o benzeno, a partir da década de 1980

Período	Fato histórico
1982	Legislação pelo Ministério da Saúde e Ministério do Trabalho proibindo seu uso como solvente, permitindo 1% da substância como contaminante.
1983	Denúncias realizadas pelo Sindicato dos Metalúrgicos de Santos-SP expondo diversos casos de leucopenia em trabalhadores da Companhia Siderúrgica de Paulista (COSIPA)
1983	Norma Regulamentadora 7 estabelece de Limite de tolerância biológico de 50 mg de fenol por litro de urina e Valor de Referência de 30 mg de fenol por litro de urina
1983	Circular nº 297 do INAMPS da Secretaria Regional de Medicina Social de São Paulo estabelece os "critérios para caracterização da leucopenia"
1986	A Secretaria de Saúde do Estado de São Paulo faz a inclusão de alterações hematológicas para exposição ao benzeno no Sistema de Vigilância Epidemiológica de Doenças Ocupacionais
1987	A Secretaria Regional de Medicina Social do Rio de Janeiro estabelece os mesmos critérios de São Paulo, mas em caráter provisório
1991	Seminário do Grupo Interinstitucional na Bahia propõe o "Protocolo de Intenções para controle do Benzenismo e outras doenças Ocupacionais do Pólo Petroquímico de Camaçari"
1991	A criação do Comitê Estadual do Benzeno no Rio Grande do Sul.
1991	A Secretaria de Estado da Saúde de SP criou a "Norma Técnica de Diagnóstico e Controle da Exposição ao Benzeno"
1993	Acontece o Seminário Nacional sobre exposição ao benzeno e outros mielotóxicos em Belo Horizonte propondo a modificação das leis previdenciárias e trabalhistas relacionadas ao benzeno
1993	O Ministério da Previdência Social estabeleceu a "Norma técnica sobre a intoxicação ao Benzeno". Ocorreu a revisão da Norma Regulamentadora nº 15 e criação do Grupo de Trabalho Técnico, que elabora o documento "Benzeno -

Período	Fato histórico
	Subsídios Técnicos à Secretaria de Segurança e Saúde no Trabalho
1994	Reconhecimento do benzeno como substância cancerígena pelo ministério do Trabalho
1995	Acordo Sobre o Benzeno e criação da Comissão Nacional Permanente do Benzeno (CPNBz)
2001	O Ministério do Trabalho e Emprego (MTE) inclui o ácido fenil mercaptúrico como indicador biológico para avaliar a exposição ocupacional
2003	Crescimento intenso do mercado automobilístico brasileiro
2005	Registro de 20 a 30% dos postos de combustíveis com vazamentos em seus tanques de armazenamento.
2008	Legislação pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) definindo o limite de concentração de benzeno em água subterrânea para consumo e recreação.
2019	Extinção da CNPBz pela Portaria nº 972, da Secretaria Especial da Previdência e do Trabalho do Ministério da Economia.
2019	A produção de benzeno no Brasil chegou a 858.091 metros cúbicos
2024	Reconstituição da CNPBz pela CTPP.

Fonte: ANP, 2019; ANP, 2020; AUGUSTO e NOVAES, 1999; BARATA-SILVA *et al.*, 2014; BRASIL, 2019; BRASIL, 2024; CAMPOS, 2017; COSTA, 2009; COSTA, GOLDBAUM, 2017; FUNDACENTRO, 2023; MENDES *et al.*, 2017; TIBURTINO, 2022.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A metodologia do trabalho, unindo a pesquisa bibliográfica de caráter exploratório, com os referenciais teóricos, possibilitou um encontro com o benzeno e a sua história. Mais do que isso, de como a união entre os Estudos CTS e a história da ciência potencializam o olhar sobre os objetos científicos, visibilizando os emaranhados sociais em que eles se inserem. Assim, foi possível fazer de uma história do benzeno um recorte para uma possível história da química e refletir em como ela esbarra nas dinâmicas econômicas e nos anseios tecnocientíficos do projeto societário capitalista.

A periodização realizada permitiu uma história “global” da química, campo entendido como um “território”, em alguns momentos mais sólido, em outros, mais instável. O primeiro momento, no século XIX, demonstra como a separação entre fatores internos e externos na ciência é inviável. Em um contexto de fortes concorrências nacionalistas dos impérios europeus, Kekulé e Loschmidt travam uma disputa de cunho “científico” que expõe outras. Suas biografias individuais traduzem outras conexões sociais. O grau de inserção na comunidade científica é um dos balizadores na preterição de Loschmidt para nomear quem seria o

“descobridor” da estrutura do benzeno. O segundo momento, com a indústria petroquímica em cena, mostra como a produção de conhecimento está vinculada às demandas sociais, de grupos econômicos diversos, e que as motivações da ciência e da tecnologia não são necessariamente movidas por altruísmo. O mercado, entre vários atuantes, é um ator crucial na determinação de produção do conhecimento químico sobre o benzeno e na formulação de agendas e políticas. O último momento da periodização aqui sugerida demonstra como uma “virada de chave” de um fato científico implica em um conjunto de mobilizações, em que há uma necessidade de “arregimentar aliados e afastar os opositores”, recorrendo à expressão latourniana. Assim, a tentativa de transformação da exposição do benzeno em problema de saúde pública colocou também em cena a sociedade civil, com sindicatos, além de pessoas e famílias impactadas pela exposição ao benzeno. O levantamento do arcabouço legal em torno do benzeno demonstra como ele é manejado em diferentes projetos societários. Em um contexto de desmonte de várias estruturas estatais reguladoras, inclusive na área ambiental, a extinção Comissão Nacional Permanente do Benzeno, em 2019, mostrou outra forma de lidar com o benzeno, atravessada pela condução ultraliberal no campo econômico.

Podemos apontar para a agência material feita a partir do benzeno, em que os cientistas, o mercado, as legislações, a saúde pública, os sindicatos são afetados por essa substância. Como exemplo, os usos do benzeno foram obtidos pela maneira em que ele afetou os humanos e, assim, ofereceu soluções para problemas muito concretos da vida na sociedade capitalista, fundada na industrialização e urbanização: o petróleo como uma fonte fundamental para diversos setores, os solventes, dentre outros vários usos que acontecem de forma generalizada e são inerentes aos coletivos sociais. O “agenciamento material e recíproco” sugere que os objetos afetam os humanos e interferem em certos usos. A reciprocidade em questão está relacionada ao fato de que os humanos devem captar essas sugestões e dar-lhes significados, sentidos materiais e simbólicos por meio da linguagem e das práticas sociais. Como se viu, a historicidade demonstra que o benzeno teve um sentido tecnocientífico no seu percurso histórico sinuoso.

A partir da linguagem, que apresenta as significações do benzeno desde o século XIX, pode-se dizer que as agências materiais são compartilhadas. Dessa forma, uma “descoberta” inicial da síntese do benzeno, suas aplicações e seu registro, fazem com que seja possível que outras agências ocorram, como descobertas subsequentes e até produções em escala industrial da substância. Em consequência, os humanos tornam-se vinculados a esses usos: da mesma forma em que a natureza do benzeno foi alterada gerando produtos que auxiliam em nossas vivências, os humanos também foram alterados, com relações de dependência em relação ao composto. O capitalismo é um balizador dessas relações.

Para além de uma história da “descoberta” para decidir entre Loschmidt e Kekulé, defendeu-se no percurso que analisar o papel da indústria petroquímica, os debates sobre os impactos do benzeno na saúde humana, com essa controvérsia, atribui uma historicidade ao composto que tornam inextricáveis ciência e sociedade, sujeitos e objetos, humanos e natureza.

The historicity of benzene: the construction of a technoscientific artifact from the view of STS studies

ABSTRACT

The historicity of benzene, an aromatic hydrocarbon with carcinogenic potential, is investigated, considering it as a techno-scientific artifact. A bibliographical exploration work was carried out on the history of benzene, in addition to a survey of Brazilian legislation on benzene, which made it possible to follow three key moments. In the 19th century, there was a controversy over the role in defining the structure of benzene between, two chemists, the German August Kekulé (1829-1896) and the Austrian Johann Loschmidt (1822-1895), leading to the latter's omission. At the beginning of the 20th century, the petrochemical industry entered the scene more actively, mobilizing benzene for pragmatic purposes in the capitalist market. Finally, studies and mobilizations on the toxicity of benzene and the impacts on Brazilian legislation are discussed. It concludes on the importance of historicity to understand benzene intertwined with a set of networks, subjects, institutions and industrial complexes.

KEYWORDS: Benzene. Technoscience. Science and technology studies. Historicity. History of chemistry.

REFERÊNCIAS

ADAMS, Fernanda Welter; NUNES, Simara Maria Tavares. A vivência da abordagem de ensino CTS na formação inicial de professores de química. **Revista Tecnologia e Sociedade**, Curitiba, v. 19, n. 55, 2023.

ANP. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo e do Gás Natural 2021**. Rio de Janeiro: ANP, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/anuario-estatistico/anuario-estatistico-2021>. Acesso em: 20 ago. 2024.

ANP. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **RESOLUÇÃO ANP Nº 807, DE 23.01.2020**, DOU 24.01.2020- RETIFICADA DOU 27 DE JANEIRO DE 2020. Disponível em: <<https://atosoficiais.com.br/anp/resolucao-n-807-2020-estabelece-a-especificacao-da-gasolina-de-uso-automotivo-e-as-obrigacoes-quanto-ao-controle-da-qualidade-a-serem-atendidas-pelos-agentes-economicos-que-comercializarem-o-produto-em-todo-o-territorio-nacional?origin=instituicao&q=benzeno>>. Acesso em: 15 jul. 2021.

ANP. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Distribuição e revenda de solventes**. Informação divulgada de acordo com a Portaria ANP nº 72/1998. Dados atualizados até dezembro/2019. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/arquivos/distribuicao-revenda/distr/solv/dm/2019/total-geral.pdf>>. Acesso em: 15 jul. 2021.

AUGUSTO, L. G. da S.; NOVAES, T. C. P. Ação médico-social no caso do benzenismo em Cubatão, São Paulo: uma experiência de interdisciplinaridade. **Cadernos de saúde pública**, Rio de Janeiro, v.15, p.729-738, 1999.

BACHELARD, G. **A terra e os devaneios da vontade**: ensaio sobre a imaginação das forças. São Paulo: Martins Fontes, 2001.

BARATA-SILVA, C. *et al.* Benzeno: reflexos sobre a saúde pública, presença ambiental e indicadores biológicos utilizados para a determinação da exposição. **Cadernos Saúde Coletiva**, v. 22, n. 4, p. 329-342, 2014.

BENSAUDE-VINCENT, Bernadette. **As vertigens da tecnociência**. São Paulo: Ideias e Letras, 2013.

BENSEUD-VINCENT, Bernadette; STENGERS, Isabelle. **História da Química**. Campinas, SP: Editora da Unicamp, 2023.

BRASIL. Ministério da Economia. **Portaria nº 972, de 21 de agosto de 2019. Revoga portarias de criação de colegiados e de aprovação dos respectivos regimentos no âmbito do extinto Ministério do Trabalho** - (Processo nº 19964.103375/2019-89). Diário Oficial da União, DF, 22 de agosto de 2019.

BRASIL, Ministério do Trabalho e Emprego. **Governo Federal atualiza NR-01 para incluir riscos psicossociais e reconstitui Comissão do Benzeno**. [Brasília]: Ministério do Trabalho e Emprego, 01 ago. 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/noticias-e-conteudo/governo-federal-atualiza-nr-01-para-incluir-riscos-psicossociais-e-reconstitui-comissao-do-benzeno#:~:text=A%20reconstitui%C3%A7%C3%A3o%20dessa%20comiss%C3%A3o%20visa,evitando%20adoecimentos%22%2C%20afirmou%20Rog%C3%A9rio>. Acesso em: 25 ago. 2024.

BONNEUIL, Christophe; PESTRE, Dominique. *Le siècle des technosciences (depuis 1914)*. In: BONNEUIL, Christophe; PESTRE, Dominique (direc.). **Histoire des sciences et des savoirs: Le siècle des technosciences (depuis 1914)**. Paris: Éditions du Seuil, 2015.

CAMPOS, Adriana Guerra. **Análise da atividade do frentista diante do perigo da exposição ao benzeno**. 2017. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Instituto Aggeu Magalhães, Fundação Oswaldo Cruz, Recife, 2017.

CAMPOS, A. G. *et al.* Exposição ocupacional ao benzeno: os perigos da exposição em postos de combustíveis. In: SANTOS, Mariana Olivia Santana dos (Org.). **Conflitos e Injustiças na Instalação de Refinarias**. Recife: Editora UFPE, 2019.

CARAMORI, G. F.; OLIVEIRA, K. T. Aromaticidade: evolução histórica do conceito e critérios quantitativos. **Química Nova**, São Paulo, v. 32, n. 7, p. 1871-1884, 2009.

CÁRIO, S. A. F. **A relação público-privada na indústria petroquímica brasileira: da estruturação articulada à reestruturação incerta**. Tese (Doutorado). Campinas, SP: Instituto de Economia da Universidade Federal de Campinas, 1997.

CASTELFRANCHI, J.. **As serpentes e o bastão: tecnociência, neoliberalismo e inexorabilidade**. Tese (Doutorado). Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2008.

CONASQ. COMISSÃO NACIONAL DE SEGURANÇA QUÍMICA. **Programa Nacional de Segurança Química – PRONASQ**, 2004, 10 p.

COSTA, D. F. **Prevenção da exposição do benzeno no Brasil**. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

COSTA, D. F.; GOLDBAUM, M. Contaminação química, precarização, adoecimento e morte no trabalho: benzeno no Brasil. **Ciência & Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v. 22, n. 8, p. 2681-2692, Ago. 2017.

FERREIRA DA COSTA, M. A.; BARROZO DA COSTA, M. F. Benzeno: uma questão de saúde pública. **Interciencia - INCI**, Caracas, v. 27, n. 4, p. 201-204, abr. 2002.

FREIRE JR. O.; PESSOA JR, O.; BROMBERG, JL., orgs. **Teoria Quântica: estudos históricos e implicações culturais** [online]. Campina Grande: EDUEPB; São Paulo: Livraria da Física, 2011.

FUNDACENTRO, Ministério do Trabalho e Emprego. **Acordo e Legislação sobre o Benzeno: 25 anos**. São Paulo: Fundacentro, 2023.

GURGEL, I.; PIETROCOLA, M. Uma discussão epistemológica sobre a imaginação científica: a construção do conhecimento através da visão de Albert Einstein. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 33, n. 1, 1602 (2011).

HOBSBAWM, Eric J.. **A Era dos Impérios: 1875-1914**. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 2001.

HOBSBAWM, Eric J.. **A Era do Capital: 1848-1875**. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 2015.

LATOUR, Bruno. **A esperança de Pandora**. Bauru, SP: EDUSC, 2001.

MAIA, Carlos Alvarez. Agência material recíproca: uma ecologia para os estudos da ciência. **História, Ciências, Saúde – Manguinhos**, Rio de Janeiro, v.24, n.2, abr.-jun. 2017, p.447-464.

MARTÍN, Nazario; SCOTT, Lawrence T.. Challenges in aromaticity: 150 years after Kekulé's benzene. **Chemical Society Reviews**, v. 44, n. 18, p. 6397-6400, 2015.

MENDES, M. *et al.* Normas ocupacionais do benzeno: uma abordagem sobre o risco e exposição nos postos de revenda de combustíveis. **Revista Brasileira de Saúde Ocupacional**, (online). 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/2317-6369000127515>>. Acesso em: 15 jul. 2021.

MERCK, S/A. **Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos - FISPQ: Benzeno**. São Paulo: Merck Millipore, v. 1.10, 28 de julho 2017. Disponível em: <<https://www.icb.ufmg.br/institucional/administracao-central/gerencias/residuos/fispq-fichas-de-informacoes-de-seguranca-de-produtos-quimicos/654-benzeno/file>>. Acesso em: 30 de mai. 2020.

MILANEZ, Bruno; PORTO, Marcelo Firpo de Souza. Gestão Ambiental e Siderurgia: limites e desafios no contexto da globalização. **Revista de gestão social e ambiental**, v. 3, n. 1, p. 04-21, 2009.

MOREIRA, G. M.; GOMES, S. F. Intoxicação ocupacional pelo benzeno: um assunto de saúde ambiental. **Revista Brasileira de Odontologia**, Rio de Janeiro, v. 68, n. 2, p. 171-4, jul./dez. 2011.

NEVES, Sérgio Valadas das. Notas para uma poética alquímica do corpo. **FronteiraZ: Revista do Programa de Estudos Pós-Graduados em Literatura e Crítica Literária**, n. 26, p. 78-93, 2021.

OLIVEIRA, Rosângela Rodrigues de; ALVIM, Márcia Helena. A história das ciências com enfoques na formação continuada de professores de química. **Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad**, nº 43, vol. 15, fev. 2020, p. 65-90.

PEREIRA, Angélica Cardoso. **Avaliação dos danos a o DNA em trabalhadores expostos cronicamente ao benzeno na cidade do Rio de Janeiro por meio do ensaio de micronúcleo**. 2019. 95 f. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública e Meio Ambiente) - Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca, Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2019.

SANTOS, M. V. C. *et al.* Aspectos toxicológicos do benzeno, biomarcadores de exposição e conflitos de interesses. **Revista Brasileira de Saúde Ocupacional**, 42 (suppl 1), 2017.

SARAIVA, Tiago. **Fascist Pigs: Technoscientific Organisms and the History of Fascism**. Cambridge, MA and London: MIT Press, 2016.

SILVA, A. N. B. Imaginação Criadora e Educação: considerações sobre o pensamento de Gaston Bachelard. In: **Anais da XVII Semana de Humanidades da UFRN**. Natal: UFRN, 2009. Disponível em: <<https://cchla.ufrn.br/humanidades2009/Anais/GT32/32.1.pdf>>. Acesso em: 15 jul. 2021.

TIBURTINO, G. Benzeno sem controle: Extinção de instâncias como a Comissão Nacional Permanente do Benzeno fragiliza vigilância e cuidado com trabalhadores e com meio ambiente. **RADIS Comunicação e Saúde**, Rio de Janeiro, nov. 2022. Disponível em: <https://radis.ensp.fiocruz.br/reportagem/saude-do-trabalhador/benzeno-sem-controle/>. Acesso em: 25 ago. 2024.

TOMA, Henrique E. Alfred Werner e Heinrich Rheinboldt: genealogia e legado científico. **Química Nova**, v. 37, p. 574-581, 2014.

TORRES, Eduardo Mc Mannis. A evolução da indústria petroquímica brasileira. **Química Nova**, São Paulo, v. 20, dez. 1997, pp. 49-54.

Wiswesser, W. J. Johann Josef Loschmidt (1821-1895): *a forgotten genius*. **Aldrichimica Acta**, Vol.22, nº1, 1989.

Recebido: 27/09/2023

Aprovado: 30/08/2024

DOI: 10.3895/rts.v20n61.17626

Como citar:

MENEZES, Ana Carolina Ribeiro; CHAVES, Bráulio Silva; BINATTI, Ildenfonso. A historicidade do benzeno: a construção de um artefato tecnocientífico sob o olhar dos estudos CTS. **Tecnol. Soc.**, Curitiba, v. 20, n. 61, p. 203-225, jul./set., 2024. Disponível em:

<https://periodicos.utfpr.edu.br/rts/article/view/17626>

Acesso em: XXX.

Correspondência:

Direito autoral: Este artigo está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

