

Estado da publicação: Não informado pelo autor submissor

A química, os metais e perspectivas de agência

Igor José de Renó Machado, Sofia Nikolaou

<https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.7480>

Submetido em: 2023-11-27

Postado em: 2023-12-01 (versão 1)

(AAAA-MM-DD)

A química, os metais e perspectivas de agência

Igor José de Renó Machado, Departamento de Ciências Sociais, Universidade
Federal de São Carlos (UFSCar)

Sofia Nikolaou, Departamento de Química, Faculdade de Filosofia, Ciências e
Letras de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo (USP)

Chemistry, metals and agency perspectives

Orcid:

Igor José de Renó Machado: <https://orcid.org/0000-0001-7811-2641>

Sofia Nikolaou: <https://orcid.org/0000-0003-2444-6069>

Declaramos que não há conflito de interesse no manuscrito

Contribuição dos autores: Ambas as autoras produziram o artigo integralmente, dividindo argumentação, conceitualização, tratamento dos dados, análise formal, investigação. Metodologia, revisão e escrita.

RESUMO:

Como podemos interpretar a agência de metais, a seguir, por exemplo, os laboratórios dos químicos? Substâncias como moléculas, de um ponto de vista recorrente nesses laboratórios, têm “comportamentos”. Esses comportamentos são vistos como agências, embora sem qualquer apreensão de consciência ou “animação”. Assim, nesses contextos de pesquisa científica, substâncias inanimadas podem ter agência por terem comportamentos que podem até ser antropomorfizados. Encarar a relação entre vivos e não vivos do ponto dos químicos embaralha nossos modos de ver os processos. Nessa

perspectiva, o metal não está em contraposição ao vivente, mas, como ele, tem comportamentos. E adentrando a escala molecular e a perspectiva reflexiva dos químicos, a questão de uma oposição entre entes vivos e não vivos pode não fazer tanto sentido. Nessa perspectiva, o comportamento de certos metais é parte essencial da produção da vida, marcando a relação entre metal e viventes como muito relativa aos níveis e escala da análise. Ou seja, dada uma certa escala, não há diferença qualquer e o que acontece num organismo vivo é parte integral de certos comportamentos do metal. A partir de uma pesquisa antropológica ex post facto (Machado 2019) apresentamos alguns exemplos retirados da experiência nos laboratórios e no aprendizado de química para discutir as questões acima.

Palavras-chave: química, metais, agência.

ABSTRACT

How can we interpret the agency of metals, following, for example, the laboratories of chemists? Substances such as molecules, from a recurring point of view in these laboratories, have "behaviors." These behaviors are seen as agencies without apprehension of consciousness or "animation." So, in these scientific research contexts, inanimate substances can have agency because they have behaviors that can even be anthropomorphized. Looking at the relationship between the living and the non-living from the point of view of chemists confuses our ways of seeing processes. From this perspective, metal does not oppose the living but, like the living, has behaviors. Furthermore, from the molecular scale and the reflexive perspective of chemists, the question of an opposition between living and non-living entities may not make as much sense. From this perspective, the behavior of certain metals is an essential part of the production of life, marking the relationship between metal and living beings as very relative to the levels and scale of the analysis. In other words, given a particular scale, there is no difference, and what happens in a living organism is an integral part of certain mental behaviors. Based on ex post facto anthropological research (Machado, 2019), we present some examples from laboratory experience and learning chemistry to discuss the questions above.

Keywords: chemistry, metals, agency.

INTRODUÇÃO*

Como podemos interpretar a agência e, eventualmente, a vida de metais, a seguir, por exemplo, os laboratórios dos químicos? Moléculas, de um ponto de vista recorrente nesses laboratórios, têm “comportamentos”. Esses comportamentos são vistos como agências, embora sem qualquer apreensão de consciência ou “animação”. Assim, nesses contextos de pesquisa científica, substâncias supostamente inanimadas podem ter agência por terem comportamentos que podem até ser antropomorfizados. Encarar a relação entre vivos e não vivos do ponto de vista das químicas¹ embaralha nossos modos de ver os processos.

Nesse ponto de vista, o metal não está em contraposição ao vivente, mas, como ele, tem comportamentos. E adentrando a escala molecular e a perspectiva reflexiva das químicas, a questão de uma oposição entre entes vivos e não vivos pode não fazer tanto sentido. O comportamento de certos metais é parte essencial da produção da vida, marcando a relação entre metal e viventes como muito relativa aos níveis e escala da análise. Ou seja, dada uma certa escala, não há diferença qualquer e o que acontece com o metal é parte integral de certos comportamentos de um organismo vivo. A partir de uma pesquisa antropológica *ex post facto* (Machado 2019, 2023) apresentamos alguns exemplos retirados da experiência nos laboratórios e no aprendizado de química para discutir as questões acima.

Aqui tomamos o ponto de vista de Mauro Almeida (Almeida 2021), segundo o qual o contraste entre um certo relativismo radical e um naturalismo científico deve ser superado num acordo em que o reconhecimento da verdade do consenso científico e a multiplicidade dos mundos não-brancos sejam simultaneamente reconhecidos. Almeida fala de um acordo entre ciências globais e locais, admitindo que as ciências locais (ontológicas) não são variações ou englobamentos das ciências globais. Teorias (ou cosmogonias) distintas e inconciliáveis podem dar conta das mesmas coisas (verdades

* Texto apresentado na IX REACT (Reunião de Antropologia da Ciência e Tecnologia), em novembro de 2023, Goiânia.

1 Recorremos ao feminino para descrever a totalidade (no caso, químicos + químicas), como forma de combater o machismo inerente à língua portuguesa, que recorre apenas ao masculino para descrever o universal.

pragmáticas) em contextos específicos. Assim, a partir da mesma verdade pragmática (fatos, substâncias, processos, etc.) múltiplos mundos metafísicos podem surgir. Tratamos aqui de uma ontologia específica, aquela que Almeida chama de “realismo científico”. A “verdade pragmática” refere-se ao lugar do metal no mundo molecular.

1. QUÍMICA E ANTROPOLOGIA

A química não é um assunto muito popular na antropologia, mesmo aquela voltada ao estudo das ciências. De forma geral, os temas da química aparecem na literatura antropológica por meio da filosofia da ciência, no qual ela tem destaque, ainda que sempre numa posição inferior à da física. Nesse campo, um tema comum é a questão das estratégias de pesquisa das químicas e o recurso a “inscritores” (Latour 1990) menos usuais na ciência física. O recurso das químicas às ferramentas de papel para produzir dados (antes do advento da computação acessível), assim como o uso de representações tridimensionais materiais para representar estruturas químicas têm fascinado as pesquisadoras da filosofia da ciência, mesmo que esses artefatos tridimensionais tenham sido substituídos por simulações tridimensionais computacionais, reduzidas às duas dimensões da tela, mas usando artifícios que simulam a tridimensionalidade (Francoeur 2001).

Por outro lado, a característica compartilhada pela física e química da produção sucessiva de novos entes actantes – como as partículas menores que o átomo, entre outras – é uma referência incontornável da filosofia da ciência (Stengers 1996, Woolgar and Latour 1997). O processo sociotécnico de produção mútua entre novos entes, de toda uma parafernália de novos aparelhos em escala variável e os próprios pesquisadores é fundamental na organização de reflexões sobre as formas de ação e existência da ciência no mundo contemporâneo. Mesmo a capacidade das químicas de imaginar e descrever entes que “não existem”² e, ao mesmo tempo, fazer deles actantes numa rede sociotécnica tem sido objeto de reflexão no campo dos estudos da ciência (Ramberg 2001).

2 Como nas simulações de estruturas moleculares criadas em computador pelas químicas teóricas, por exemplo.

A questão da estratégia tridimensional de análise de estruturas químicas, usada recorrentemente pelas químicas, é aquilo que tem chamado atenção das antropólogas. Myers (2008), por exemplo, produz um estudo sobre as cristalógrafas e seus modelos tridimensionais de proteínas, construídos a partir de técnicas de difração de raios X. O que chama a atenção de Myers, assim como Ramberg e Francoeur são as estratégias de aprendizado e imaginação das químicas que, ao analisarem as estruturas tridimensionais das moléculas, fazem transferências do mundo do “papel” (gráficos e contas) para um mundo em três dimensões. No caso de Myers, o que é destacado é uma representação corporal das estruturas desenhadas no computador, implicando o que ela chama de “encorporação” (embodiment) da técnica de pesquisa numa técnica de representação corporal que é ensinada inconscientemente nos laboratórios. Essas representações corporais teriam uma importância na forma de entender as estruturas em questão.³

Embora esse seja um tema importante nesse pequeno campo de estudos, consideramos menos relevante, face a outra dimensão que a própria Myers indica ao transcrever a fala de uma química: “ver o que a estrutura está dizendo é difícil” (Myers 2008:165), ou ainda, “é preciso entrar na estrutura para entendê-la” (idem:187). Essas duas passagens dão uma dimensão do que nos interessa aqui: a ideia, recorrentemente expressa, que as estruturas são coisas vivas, seres actantes que, de certa forma pensam, já que para entendê-los é preciso “entrar na estrutura”, no sentido de pensar como elas. Essa esfera da prática das químicas, que inscreve nas estruturas uma ação, pode ser vista como uma espécie de animismo molecular que nos interessa ao analisar as interações do metal com o vivente ou o metal como parte do vivente.

No campo da antropologia, a química tem sido analisada a reboque de outras questões, especialmente o antropoceno e sua produção de substâncias que afetam de forma radical o ambiente geral ou a saúde dos humanos e não-humanos. Uma dimensão relevante nesses estudos é a noção de *pharmakon*, retomada por Stengers e explorada por Kirksey (2017) e Shapiro e Kirksey (2017). O *pharmakon* é uma substância que pode ser tanto um veneno como uma cura, na acepção grega da qual derivou nossa

3 Para mais discussões sobre a questão dos modelos tridimensionais, ver De Chadarevian e Hopwood (2004) e Daston (2012).

ideia de “droga”. Usando o *pharmakon*, Kirksey explora os limites de substâncias usadas na quimioterapia, desde os complexos industriais de produção até as práticas de cuidado na aplicação a pessoas com câncer. Ela indica que muitas vezes as substâncias que produzem cânceres são produzidas pelas mesmas empresas que fazem os remédios contra o mesmo mal.

Nesses casos, o enfoque é também no que as drogas causam ao corpo (como a cisplatina que causa perdas de gosto e olfato), assim caminhando também para a “encorporação” (embodiment) dessas drogas. Os efeitos dessa rede sociotécnica do *pharmakon* no corpo é o foco, com suas mudanças nos sentidos físicos, de um ponto de vista fenomenológico. Mas esse campo inicia uma visão “químio-antropológica” que vai além do corpo, em direção às redes sociotécnicas de produção de actantes – ou coisas, na perspectiva de Ingold (2012) – a partir da análise de substâncias químicas, em geral tóxicas, que estão produzindo novas realidades de destruição e desolação no antropoceno. Muito como no trabalho de Tsing (2015), essas químio-antropólogas estão analisando condições emergentes de vidas químio-sociais. Assim, as antropólogas passam a seguir novas espécies químicas (reagentes, enzimas, etc.), enquanto elas produzem novas ontologias, novas entidades, novos agentes que emergem de interações moleculares nesses novos *pharmakons* do mundo capitalista. A produção de novas realidades tóxicas (como as influenciadas por agrotóxicos, remédios que poluem águas, etc.) são analisadas em suas consequências, muitas vezes absolutamente inesperadas (Roberts 2010, Pandian 2016).

Uma das implicações dessa perspectiva, e que nos concerne aqui, é uma discussão sobre “substância”, e de como ela implica, nos níveis moleculares que nos interessam, em complexidades, fricções e imprevisibilidades. A natureza da vida dessas substâncias é colocada em discussão e Bennett (2010:117) afirma que “em certo sentido, tudo está vivo”, mesmo que em outras dimensões e propensões. Essas outras formas de existência podem ser objeto da análise da químio-antropologia (Povinelli 2016).

A determinação do que é vida ou não e como cada uma dessas dimensões se converte na outra são remodeladas pela perspectiva de seguir as substâncias químicas no mundo contemporâneo. Autores como Thacker (2005) e Abrahamsson et al. (2015)

destacam como essa análise das substâncias do mundo capitalista coloca desafios ao imaginário social usual, levando a uma ideia de matéria (substância) em relação nesses universos sociotécnicos. Ora vivos, ora mortos, ora nem um nem outro, ora letais, ora remédios, ora transformações, ora decomposições, ora compostos indecomponíveis, ora produtores de devastação em comunidades de vivos, ora suporte para novas e inesperadas comunidades de vivos. E esses processos estão, por sua vez, reconfigurando nossas condições de existir, saber e viver em sociedade.

Nosso argumento, a partir de alguns exemplos do conhecimento da química e suas substâncias, é entender a dimensão de existência – a partir do entendimento das químicas – dessas substâncias na produção de vida no nosso sentido usual (o de que, como espécies animais orgânicas, estamos vivos). Ao considerar as escalas diferentes e entender as substâncias moleculares como agentes, assim como as químicas os fazem, nosso entendimento de vida, não-vida, serão embaralhados. Como afirmam Shapiro e Kirksey:

Considering the full spectrum of dynamics among chemical species — processes of persistence, decay, ionization, combustion, and sublimation, to name a few — requires moving beyond the bios/thanatos divide and gazing into the realm of nonlife. (Shapiro e Kirksey 2017:486).

A proposta aqui não é exatamente uma químio-antropologia, no sentido de seguir as substâncias etnograficamente (e os mundos que elas produzem), mas tem algo disso ao pensar as diferentes escalas e complexidades de viventes, não viventes e coisas além⁴. Por outro lado, seguimos com uma proposta mais tradicional de uma antropologia dos laboratórios, ao pensar em como as próprias químicas pensam as substâncias que emergem de suas bancadas e aparelhos. Ou ainda como imaginam as estruturas moleculares que fazem parte de seu aprendizado básico com actantes em suas escalas de existência.

4 Ou, como temos visto com mais frequência: “mundos mais que humanos” (De la Cadena 2010, Bellacasa 2017)

2. OS METAIS EM OUTRAS ESCALAS

Passemos agora a investigar um pouco de como as químicas discorrem sobre o metal em nível molecular (e outros níveis adjacentes, como o das proteínas e o celular). É importante notar que essa narrativa a seguir é propriamente um discurso das praticantes da química sobre alguns conhecimentos básicos a respeito do papel de metais no corpo. Nós usaremos essa narrativa em dois sentidos: um refere-se ao conteúdo específico do que se diz, ao conhecimento científico da química, ou uma cosmologia química do funcionamento do mundo molecular; outro refere-se a forma do discurso, como um indicativo da maneira que nessa cosmologia o embaralhamento entre viventes e não viventes é complexo.

A análise da forma é propriamente uma etnografia *ex post facto*, já que uma das autoras do texto tem uma experiência de mais de 20 anos na coordenação de laboratórios de química inorgânica. Isso implica dizer que a linguagem da descrição dos fenômenos químicos é um indício das cosmologias implícitas (ou inconscientes) nessa prática científica específica, indicando uma perspectiva que muitas vezes é contradita por um posicionamento diferente. Assim, embora todas as químicas venham a falar do comportamento das moléculas e de como elas “agem” e fazem coisas como “mover braços”, “dar puxões”, “pilotar”, “carregar coisas”, nem todas assumiriam, a seguir, que essas entidades são, em algum sentido, vivas. Mas muitas terão dúvidas. E muitas diriam que sim, que são vivas em determinados contextos e não em outros. Na discussão a seguir voltaremos a isso.

2.1 A cosmologia química dos metais

Hoje há consenso de que ao menos 10 metais são essenciais à vida e que outros 40, incluindo elementos radioativos, compõem a formulação de medicamentos e contrastes para procedimentos de diagnósticos. Soma-se a isso a capacidade de compostos metálicos de interagir com biomoléculas como proteínas, lipídios, enzimas e DNA, por exemplo, interferindo assim em diversos processos metabólicos.⁵ Essas interações podem alterar as funções biológicas das biomoléculas, por um lado, ou

5 Conjunto de transformações mediadas por proteínas, metaladas ou não, que resultam na síntese de novas substâncias ou a degradação e outras já existentes em um organismo vivo.

determinar o comportamento farmacocinético e farmacodinâmico do composto metálico por outro. Ou seja, essas duas grandes áreas se debruçam sobre os comportamentos de mobilidade, transporte e armazenamento (farmacocinética) e da forma como agem fármacos em geral e também fármacos contendo metais em sua composição (farmacodinâmica).

Fora da esfera do público especializado (químicas, farmacêuticas, farmacólogas, etc.), a maior parte desses elementos e seus compostos sequer são reconhecidos como metais e, quando o são, são identificados com coisas mortas ou com coisas tóxicas, agressivas e deletérias à vida. Obviamente, há compostos que contêm metais em sua composição que de fato são tóxicos. Um exemplo comum, de conhecimento geral, é que “mercúrio” é tóxico (Passos and Mergler 2008). Curiosamente, uma das espécies químicas mais tóxicas com mercúrio em sua composição é o chamado “metil mercúrio”, na qual o mercúrio não se encontra em seu estado metálico, pois é uma molécula orgânica, lipossolúvel, que se acumula em nosso organismo.

Alguns materiais são facilmente identificados como metais, como ferro, zinco, cobre, níquel. Outros, nem tanto. Sódio e potássio, por exemplo, nossos velhos conhecidos de discussões sobre dietas, pressão alta, etc. são, ambos, metais. Há alguma confusão sobre as diferentes formas de ocorrência de um elemento químico. E esse aspecto seria irrelevante para esta discussão não fosse o fato de que essa confusão de representações pode levar ao não reconhecimento das ocorrências, boas ou más, dos metais em relação à vida. Tomando o sódio como exemplo, pois ele nos é familiar, embora seja um metal, ele ocorre na nossa dieta como um sal, o cloreto de sódio ou o sal de cozinha. E é no formato de sal que ele medeia processos biológicos como o transporte ativo de substâncias para dentro e fora das células, mas também pode desencadear pressão alta caso sua ingestão seja excessiva (Rayner-Canham and Overton 2003).

É também muito fácil estabelecer pares antagônicos das manifestações de metais em coisas mortas e vivas. Exemplo: cobre é um metal condutor de eletricidade nos fios de nossas casas e também se encontra na composição de proteínas chamadas SOD (superóxido dismutases) que combatem o estresse oxidativo no nosso corpo

(Ferreira et al. 2000). Nos dois contextos, funciona bem devido sua capacidade de transferir elétrons. Atributos como tamanho e formato também são determinantes do comportamento químico e biológico dos compostos metálicos, e a consistência dos comportamentos determinados por essas qualidades permitem que a técnica treinada, químicas no caso, planeje e obtenha ações desejáveis desses materiais.

Mas por que seriam os metais em sua maioria desconhecidos das pessoas, ou apenas conhecidos em determinados contextos ou, ainda, reconhecidos por propriedades deletérias, associados mais à morte (ou ausência de vida) do que a aspectos positivos? Se olharmos a Tabela Periódica, estrutura que organiza e representa o conjunto de todos os elementos químicos conhecidos, podemos verificar que de 118 elementos, 7 elementos são classificados como semi-metais, 19 como não metais e todos os demais são metais! Ou seja, mais de três quartos dos elementos conhecidos são classificados como metais na perspectiva química. Se é assim, por que toda essa matéria nos é predominantemente desconhecida?

Em contraposição existem os elementos não metálicos, especialmente carbono, hidrogênio, oxigênio, nitrogênio e fósforo, esses sempre associados à vida, no seio da chamada química orgânica. Notem o nome: orgânica. Talvez em função do nome ou, ao contrário, o nome originando-se na percepção, associa-se a matéria constituída por esse outro grupo de elementos químicos como "viva".

Talvez uma pista para o estabelecimento dessa situação seja o fato das várias formas com que metais se manifestam na matéria. Um metal, para se comportar como tal, deve ocorrer na sua forma eletricamente neutra. Um vergalhão de ferro, por exemplo, é constituído por ferro metálico, ou seja, Fe^0 (lê-se ferro-zero). Porém todo metal assume formas eletricamente carregadas. E, quando ocorrem com carga, combinam-se, de formas extremamente variadas, com um sem número de outros materiais, dando origem, portanto, a um sem número de novas substâncias. E são dessas outras substâncias que contêm metais em suas composições que somos predominantemente ignorantes. Ferro metálico se torna carregado quando se combina com o oxigênio do ar no processo de corrosão, originando a ferrugem, que nos é perfeitamente familiar. Mais difícil é identificar que o sal de cozinha, que ingerimos

diariamente e com o qual tanto nos preocupamos em função do chamado "teor de sódio", contem em sua composição um elemento metálico (no caso, o sódio).

2.2 Ferro, vida e não vida

Sobre a essencialidade dos metais para a vida, tomando ainda o ferro como exemplo, nosso organismo o reconhece como “tão” essencial que não tem um mecanismo específico para sua excreção, mas tem um maquinário proteico exclusivo que visa utilizá-lo, transportá-lo e armazená-lo. Dada sua essencialidade, nosso corpo entende que, em caso de aporte excessivo, o ferro não pode ser desperdiçado e o armazena. Obviamente que um desbalanço acentuado na sua concentração ou alguma desordem metabólica embaralha os processos fisiológicos que regulam o uso equilibrado do ferro na manutenção da vida e ele passa a exercer um papel nocivo (Milto et al. 2016).

Nossa respiração se assenta basicamente em uma reação reversível de ligação do ferro ao oxigênio. Nos pulmões, a proteína chamada hemoglobina capta moléculas de $O_{2(g)}$ (lê-se oxigênio molecular gasoso ou, simplesmente, oxigênio) e, nos demais tecidos do nosso organismo, com ênfase nos músculos, o libera para uma outra proteína, a mioglobina. Tanto a hemoglobina quanto a mioglobina são ferro-proteínas e o que regula a diferente afinidade do ferro pelo oxigênio em ambas é uma ligeira diferença de acidez que ocorre entre o pulmão e os músculos. O ferro da hemoglobina tem alta afinidade pelo oxigênio na condição de acidez fisiológica do pulmão e essa afinidade é diminuída na condição de acidez dos músculos (ligeiramente mais ácidos), nos quais o ferro da mioglobina tem afinidade maior pelo oxigênio e então é capaz de capturá-lo (Toma 2015). Ou seja: fundamentalmente o metal ferro atua no transporte de oxigênio do órgão onde ele é captado pelo nosso corpo (pulmão) para os lugares onde o oxigênio precisa ser utilizado (os demais tecidos). E, para isso, o ferro precisa circular.

O ferro no organismo, assimilado a partir do que comemos, se envolve numa complexa cadeia de ações, mediadas pelas chamadas ferro-proteínas, para levar a termo seu papel. Isso porque o metal ferro não circula livremente no corpo nas suas duas formas comuns, o Fe^{3+} (lê-se ferro-três ou ferro-três-mais) e o Fe^{2+} (lê-se ferro-dois ou ferro-dois-mais). Ele é ingerido predominantemente na forma de ferro-três e, nessa

forma, circula no corpo, mas não é capaz de entrar nas células. Dentro das células, o ferro deve existir na forma de ferro-dois para circular.

Ferro-dois é transformado em ferro-três pela ceruloplasmina. Nessa forma, o ferro tem mais afinidade por uma enzima chamada transferrina que, como o nome sugere, tem a função de capturar e transportar ferro para fora das células e levá-lo para locais no organismo em que seja necessário. Todo excedente de ferro é, por sua vez, armazenado na forma de ferro-três em proteínas chamadas ferritinas. Para respirarmos, o ferro precisa ser incorporado na hemoglobina na forma de ferro-dois. Na transformação reversa (ferro-três para ferro-dois) o corpo utiliza o famoso ácido ascórbico, mais conhecido como vitamina C. Estima-se que ao longo de um dia 40 mg de ferro são transportadas pela transferrina para a medula óssea, onde a hemoglobina é sintetizada. E cerca de 6 mg são armazenadas nas ferritinas.

O ferro, para executar suas ações, depende das ações de uma série de proteínas que muitas vezes também contêm metais em sua estrutura (Yu et al. 2014). Por exemplo, uma das enzimas responsáveis pela transformação ferro-dois / ferro-três, a ceruloplasmina, contém seis íons Cu^{2+} (lê-se cobre-dois ou cobre-dois-mais) em sua estrutura.⁶ Esse balé entre as formas ferro-três e ferro-dois é uma estratégia encontrada pelos organismos para que suas moléculas executoras de funções específicas (as proteínas e as metalo-proteínas) sejam capazes de reconhecer uma espécie pela qual tem mais afinidade química e proceder corretamente ao seu transporte ou armazenamento ou transformação. Temos em nosso corpo proteínas que operam como trens, prateleiras e reatores, todas elas constituídas por moléculas que, em sua maioria, contêm metais em suas composições.

Além da questão da constituição estrutural (ferro-dois/ferro-três, notação que diz respeito especificamente ao número de elétrons contidos em um átomo do metal), a forma e o tamanho de suas diferentes manifestações também importam para a execução de uma ação específica. Ou seja: o aspecto tridimensional, o objeto com o qual os metais e seus compostos se identifica, também é determinante de sua ação. Voltando à

6 Ceruloplasmina: um sítio de cobre-dois se liga e transforma ferro-dois em ferro-três, sendo ele mesmo reduzido a cobre-um. Esse cobre-um transfere esse elétron a outros sítios de cobre. Após a transferência sucessiva de 4 elétrons, esses sítios de cobre se ligam a uma molécula de oxigênio que é, por sua vez, reduzida, restaurando os íons cobre-dois originais e produzindo duas moléculas de água.

hemoglobina: essa proteína contém quatro grupos ferro-heme, cada um capaz de ligar uma molécula de oxigênio, de maneira concertada. Um grupo ferro-heme é uma porção da proteína com formato e planaridade de um quadrado, no qual o ferro-dois encontra-se no centro. Porém, devido a seu tamanho, ele não consegue se alojar entre os quatro átomos ligantes do centro heme (átomos do próprio grupo heme que fazem ligação química com o ferro-dois), ficando deslocado desse plano de cerca de 0,040 nanômetros (10^{-9} m). Esse ferro ainda conta com uma quinta ligação química a um grupo chamado imidazol, que funciona como um braço unindo um grupo heme a outro. Quando um ferro-dois, fora do plano espacial do grupo heme, se liga a uma molécula de oxigênio, ele sente os efeitos químicos dessa ligação que resultam numa contração do seu tamanho. Uma vez menor, esse ferro-dois ligado ao oxigênio se encaixa no plano do grupo heme, realizando um movimento que desloca o braço imidazólico. Esse movimento funciona (literalmente) como um puxão, que sinaliza para o segundo grupo heme que é o momento dele se ligar a uma segunda molécula de oxigênio e assim por diante. Quimicamente falando, a geometria dos complexos ferro-heme livres e ligados ao oxigênio se modifica, e essa mudança de geometria promove um movimento que importa para a execução da função da hemoglobina.

2.3 Zinco e o DNA

Já o metal zinco, entre outras ocorrências, é parte constituinte de uma família de proteínas chamadas de “dedos de zinco” (Toma 2015, Cassandri et al. 2017). Dedos de zinco são fatores de transcrição genética que ocorrem largamente em vários tipos de organismos, sendo a maior família de fatores de transcrição do genoma humano. Essas proteínas podem ser descritas como pilotos, que dirigem outras proteínas maiores (as RNA-sintase) para regiões específicas do DNA.

Os dedos de zinco, por terem sua própria sequência de aminoácidos característica, reconhecem, por afinidade química, pontos específicos do DNA, para os quais dirigem as RNA-sintases. A origem do nome dedo de zinco não é perfeitamente clara. Mas pode estar relacionada tanto com a questão da forma da proteína quanto com sua ação. A explicação mais aceita se baseia na forma. Esses “motivos”, que são comuns em diferentes contextos, são pequenas proteínas que, em linguagem técnica,

tem sua estrutura secundária formada por duas folhas-beta, uma alfa-hélice e uma fração de estrutura-não ordenada. As folhas-beta e a alfa-hélice se dobram e assumem posições paralelas através da ligação de aminoácidos ao metal zinco, na forma de zinco-dois (notação química Zn^{2+}). A partir dessa dobradura, a fração de estrutura-não ordenada da proteína assume um formato “tubular” que lembraria um dedo. Alguns autores, porém, sugerem que o termo se relaciona com o fato de que, para executar a função de tradução da sequência de bases nitrogenadas codificadas no DNA para a sequência de aminoácidos que serão encadeados na síntese proteica, essas proteínas precisam “abrir”, “mexer na”, “dedilhar” a estrutura tridimensional do DNA.

2.4 Metais pharmakon

A noção geral que temos é de que “compostos químicos” são tóxicos, nocivos. De fato, muitos são. Mas o que não se pode perder de vista é que toda a matéria existente é constituída de compostos químicos. E, no caso dos metais, isso não é diferente. Assim, inúmeros metais são utilizados no tratamento de doenças. E, tanto quanto é válido para fármacos convencionais (moléculas orgânicas), a dose importa no que diz respeito à função terapêutica *versus* a capacidade de intoxicação que uma molécula contendo metal pode apresentar. Portanto, os metais ocorrem não só em processos intimamente ligados à vida, mas também ocorrem em seu suporte exercendo funções terapêuticas, como o tratamento do câncer (Banerjee and Banerjee 2022).

A platina, um metal nobre, caro e pouco abundante, é utilizada desde a segunda metade do século passado no tratamento de vários tipos de câncer, entre eles o de próstata, testículos, ovários, entre outros. O fármaco de primeira escolha para o tratamento quimioterápico em alguns casos é a chamada *cis*-platina. Essa molécula contém a platina na forma de Pt^{2+} (lê-se platina-dois ou platina-dois-mais) e seu formato é exatamente o de um quadrado com a platina no centro, tendo os planos acima e abaixo da molécula completamente desimpedidos. Além dessa característica, a molécula *cis*-platina (como o nome sugere pela utilização do termo “*cis*”) contém em dois vértices adjacentes do quadrado dois grupos químicos idênticos e lábeis, o que em química significa que são grupos fracamente ligados ao metal e que podem, portanto,

ser facilmente substituídos. Por conta dessas duas características, forma e labilidade, é que a *cis*-platina tem ação antitumoral.

O formato quadrado e a ocorrência da platina como platina-dois e não como platina-zero ou platina-quatro (as outras duas formas acessíveis da platina) são determinantes da labilidade dos grupos em posição **cis**. A possibilidade de troca desses grupos químicos na composição da molécula de *cis*-platina permite com que a mesma se ligue quimicamente ao DNA. Uma vez ligada, a molécula impede justamente a replicação e transcrição adequada do DNA, matando as células tumorais. Qual o problema nesse esquema? A *cis*-platina exerce o mesmo efeito (em diferentes graus) em células saudáveis, sendo um fármaco com muitos efeitos colaterais.

Em contraposição pode-se citar também moléculas contendo rutênio em sua composição, um metal menos conhecido, que tem qualidades químicas diversas em relação à platina e, justamente por isso, também apresenta capacidade de combater alguns tipos de câncer. Compostos de rutênio usualmente não são quadrados, apresentam a chamada geometria octaédrica. São objetos com formato de um balão de festa junina, com oito vértices e cujo centro é ocupado por um rutênio-dois ou um rutênio-três. Além de não ter espaços livres acima e abaixo do metal, os compostos de rutênio-dois são menos lábeis do que os de platina-dois e os de rutênio-três são predominantemente inertes. Ou seja: forma e comportamento lábil/inerte são diferentes. Interessante notar que, com comportamento químico oposto, os compostos de rutênio não conseguem, em sua maioria e até onde se sabe, adentrar o núcleo celular e acessar seu DNA como mecanismo predominante de ação. Mas está bastante documentado que nem sempre compostos de rutênio agem diretamente⁷ em tumores primários, como a *cis*-platina. Compostos de rutênio conseguem, por sua vez, executar uma ação motora: ligam-se a algumas proteínas de membrana e alteram a mobilidade das células em que se ligaram. Essa capacidade intrínseca desses compostos tem sido ligada à observação de que, ao contrário dos compostos de platina, os compostos de rutênio agem preferencialmente em tumores metastáticos. Ou seja: eles previnem que um câncer se espalhe por um organismo na medida que interferem com a mobilidade celular. Esse

7 A palavra “diretamente” é importante, por que há outros tipos de ação além da que vamos exemplificar a seguir. Então há compostos de rutênio que agem em tumores/lesões primárias mas NÃO diretamente, e sim mediante estímulo por luz.

comportamento, entre outros, tem impulsionado as investigações desse metal para sua utilização como medicamento (Nikolaou and da Silva 2018).

3. IMPLICAÇÕES DA COSMOLOGIA QUÍMICA

Como vimos acima, há dois caminhos a seguir nessa análise do lugar do metal no universo pela química: tanto o discurso científico e a prática científica como o discurso sobre ela. Veremos que na confluência das duas emerge uma hesitação que desestabiliza certas concepções hegemônicas de “vivo” e “não-vivo”, quase como uma fratura no que Povinelli (2016:4) chama de “*geontopower*”: “rather a set of discourse, affects, and tactics used in late liberalism to maintain or shape the coming relationship of the distinction between Life and Nonlife”.

Na leitura de Povinelli o *geontopoder* é aquilo que ultrapassou, no capitalismo contemporâneo, a ideia de biopoder de Foucault, no sentido de que esse último conceito não daria conta mais de explicar as formações de poder contemporâneas. Para os nossos interesses aqui basta destacar que essa ideia é hegemônica na esfera do capitalismo global contemporâneo e determina nosso imaginário sobre o que é ou não vivo. Essa forma hegemônica é habitada por figuras, metáforas que a autora explora para demonstrar seu ponto de vista. Interessa-nos a figura do “imaginário do Carbono”, ou a ideia de que a vida acontece apenas nos “existentes” (ou actantes, ou coisas) a base de Carbono (a substância química). Seriam os seres que nascem, crescem, reproduzem e morrem.

A autora escolhe o termo “existentes” justamente para fugir do imaginário do Carbono, advogando que assim outras coisas, seres, organismos, substâncias podem ser vistas por outros ângulos. O fato é que no cenário do antropoceno e da crise climática, as distinções entre vida e não-vida ficaram menos evidentes. Tentando pensar a multiplicidade de ontologias e, portanto, de imaginações sobre “existentes”, a autora avança numa crítica ao “*geontopoder*”. Povinelli destaca que a própria ciência produz uma mistura entre vida e não vida:

The same techniques that allow the natural sciences to distinguish between categories of life also demonstrate not merely the interdependent entanglements of

Life and Nonlife but the irrelevance of their separation. Animals and minerals, plants and animals, and photoautotrophs and chemoheterotrophs are extimates — each is external to the other only if the scale of our perception is confined to the skin, to a set of epidermal enclosures. (Povinelli 2016:42)

O caminho para pensar a interpenetração entre vida e não vida é justamente o recurso à escala: as mudanças de escala acabam por desafiar o imaginário do Carbono. Retomando nosso exemplo da sessão anterior, vemos que discurso científico da química é construído a partir, prioritariamente, de uma mudança radical de escala, adentrando o universo do incrivelmente pequeno (até as incertezas do mundo quântico).

Assim, a descrição do ferro o elucida agindo na respiração humana, capturando o oxigênio do ar que respiramos em proteínas específicas, sendo carregado pelo nosso corpo por outras, e depois liberado em partes diferentes por ainda outras proteínas, além da análise das formas diferentes que o ferro assume no corpo a depender da escala em que estejamos vendo (seja como uma molécula solta, ou como parte de proteínas, fora ou dentro de células, todas essas escalas de tamanho diferentes). Todas as variações do ferro no organismo, que mudam conforme o número de elétrons que ele carrega em cada etapa de suas várias jornadas, indicam que o ferro está fazendo coisas que nos mantêm vivos. Aquela pequena inclinação de 0,040 nanômetro do ferro na hemoglobina é responsável, sozinha, pela possibilidade da respiração existir.

Isso quer dizer que a ação de um “existente” [ou “actantes”, nas palavras de Bennet (2010:112-113), ou as “coisas” de Ingold (2012)] numa escala nanométrica é responsável pela possibilidade da existência da perspectiva de um outro existente, um humano delimitado pelos contornos de sua “última membrana”, a nossa pele. E entre essas duas escalas, existe uma infinidade de escalas nas quais diferentes existentes operam em um corpo humano de forma regular e, segundo o imaginário do Carbono, o mantém vivo. Mas são esses outros existentes vivos? O ferro, quando operando dentro do nosso organismo, é um existente vivo, ou é um não-vivo operando para a manutenção da vida do que considerariamos realmente vivo (o corpo, o ser de Carbono)?

Olhando para os outros metais que citamos anteriormente, poderíamos estender nossas reflexões: a platina, introduzida mecanicamente no corpo humano, para combater um câncer (um existente em si que luta para existir contra o corpo que o

circunscreve), é um existente não-vivo que atua e se alia ao organismo na luta pela vida, ou é um existente vivo que indiscriminadamente faz suas próprias agendas dentro de um contexto em que é colocado, atacando células tumorais e sadias indiscriminadamente? O rutênio é uma substância sem vida que funciona como um agente de trânsito corporal, atuando para bloquear a circulação de células cancerígenas e evitar uma metástase? Ou é uma substância que simplesmente age conforme sua natureza química, combinando-se com outras substâncias que lhe são afins? O zinco, em suas ações de transcrição de DNA, fundamentais para a realização de diversas funções no organismo, executa um plano, dedilha um código, produz uma atividade característica de um ser vivo? Ou é uma máquina molecular que, em sua não-vida, opera processos que possibilitam a vida em outras escalas?

A natureza da prática das químicas, que se debruçam sobre escalas muito diversas produz um embaralhamento da noção de vida e não-vida. Se perguntarmos à química se um ferro está vivo no processo da respiração humana, a resposta pode muito bem ser um “sim”. Ou um “não”, ou um “talvez”. Mas a resposta sempre virá após uma *hesitação*. Essa hesitação é resultado de uma fratura que a prática das químicas introduz no geontopoder e no imaginário do Carbono. Operando em escalas onde os organismos de Carbono podem apenas ser um contexto de existência, o que acontece nesses contextos parece-se em tudo a uma ação deliberada. O ferro certamente parece vivo. Mas a hesitação vem justamente do poder hegemônico da separação entre vivos e não-vivos que o geontopoder estabelece.

Essa hesitação, colocada entre a experiência prática cotidiana das químicas e a cosmologia hegemônica do geontopoder nos permite entender a segunda parte da equação que prometemos na sessão anterior: o discurso sobre o que acontece nessas escalas nanométricas é completamente animista. Tudo que acontece com as moléculas é narrado em termos de ação: fazer, transportar, puxar, retirar, roubar, etc. Todas essas ações são narradas de uma perspectiva em que os existentes considerados estão evidentemente agindo, em certa dimensão, conscientemente.

Essa antropomorfização da vida nanométrica das moléculas não é um mero acidente ou mesmo um vício de linguagem, é um efeito radical da experiência prática das químicas com outras escalas. Tudo se passa ali numa apreensão de que os existentes

estão realizando ações que precisam ser desvendadas pelas cientistas. A forma de narrar essas moléculas é uma expressão inconsciente do embaralhamento que vida e não vida adquirem nessa escala. O ferro está vivo? Espera-se um segundo de hesitação: talvez?

Na esfera da prática científica das químicas essa hesitação pode ser domesticada pelo imaginário do Carbono e suas determinações rígidas de vida e não vida. Essa fratura pode ser costurada em avisos frequentes para que se evite a antropomorfização das moléculas, como costuma acontecer em bancas de mestrado e doutorado. Mas as formas de narrar a prática e o próprio conhecimento científico-cosmológico derivados dessa prática, como vimos na sessão anterior, estão completamente impregnados de uma concepção de vida das moléculas, que embaralha as divisões estabelecidas e causa sempre essa hesitação, que une o conhecimento científico e uma ideia não consciente desses existentes moleculares como viventes.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para Bennett (2010), a modernidade tem como pressuposto a passividade das coisas, vistas como inertes. Ela defende, ao contrário, uma “matéria vibrante”, na qual as coisas têm certa vitalidade:

By “vitality” I mean the capacity of things — edibles, commodities, storms, metals — not only to impede or block the will and designs of humans but also to act as quasi agents or forces with trajectories, propensities, or tendencies of their own. (Bennett 2010: VII)

Coisas são actantes, categoria que ela toma de Latour⁸ para defender uma forma radical de “actância” das coisas. A proposta de Bennett é encarar actantes humanos e não humanos num plano mais horizontal que o usual, que é também o que fizemos aqui nesse texto. Assim, enfatizamos a agência de coisas não humanas, no caso, dos metais. Mas tratamos também, para reforçar o argumento, de adentrar outras escalas, especificamente as físicas. Outros autores recorrem a escalas temporais diferentes, como o caso citado por De Landa (2021): numa perspectiva temporal incrivelmente estendida, de milhões de anos, veríamos que os seres vivos moles (sem

8 Um actante é uma fonte de ação que pode ser tanto humana como não humana, ele tem uma eficácia e pode fazer coisas, produzir diferenças, efeitos e alterar cursos de eventos (Latour 2019).

estruturas rígidas) predominava até 5000 milhões de anos atrás. Em algum momento, certos conglomerados de vida passaram por uma mineralização e uma nova forma mineral, dentro dos corpos moles, surgiu: os ossos. É como se os minerais se utilizassem dos tecidos vivos para se espalharem pelo mundo. Assim, no longo termo, os minerais podem ser vistos como o poder ativo, e os seres com ossos (entre eles os humanos) como um produto dessa atividade.

Assim, o exercício de testar outras escalas, característica por excelência da ciência química, abre brechas ou fraturas nas concepções estáticas de vida e morte do pensamento moderno (o geontopoder de Povinelli, ou o hilemorfismo de Ingold). É interessante colocar a química no centro do debate, no que ela tem de potencial crítico para as concepções hegemônicas, para atentar para a hesitação que ela produz. Pois, por outro lado, é a própria ciência química, capturada pela indústria capitalista, uma das responsáveis pela proliferação de actantes no nosso mundo, ao produzir entidades novas (todas com caráter de *pharmakon*) – como remédios, agrotóxicos, polímeros variados, gases de toda ordem – que tem responsabilidade na configuração de um mundo (Gaia) afetado pelo humano em escalas inéditas (antropoceno).

Hoje em dia, peixes mudam de sexo em determinados lugares por conta da contaminação de águas pelo uso humano de anti-concepcionais, excretado na urina (Tyler et al. 1997), a excreção de metanfetaminas por humanos em leitos aquáticos produz populações de peixes viciados (Horký et al. 2021), somente para dar alguns exemplos. Essas novas “assemblages” que conectam formas humanas e não humanas consideradas vivas e formas de matéria, vistas como inertes, são uma característica do antropoceno, causando todo tipo de efeitos imprevisíveis. Mas uma parte consistente desses efeitos é a transformação de Gaia em uma realidade cada vez mais hostil aos humanos (e milhares de outras espécies).

Considerar a vitalidade das coisas supostamente inertes, como os metais, pode indicar uma forma menos invasiva de lidar com elas. Enquanto tudo é inerte e morto, tudo está à disposição dos humanos para a transformação. Considerar a vitalidade das coisas de um ponto de vista político pode colocar em questão este estado de coisas, governado pela geontopolítica, que dispõe do mundo e seus existentes em favor dos projetos políticos-econômicos do capitalismo liberal. Como afirma Bennett:

Why advocate the vitality of matter? Because my hunch is that the image of dead or thoroughly instrumentalized matter feeds human hubris and our earth-destroying fantasies of conquest and consumption. It does so by preventing us from detecting (seeing, hearing, smelling, tasting, feeling) a fuller range of the nonhuman powers circulating around and within human bodies. (Bennett 2010:IX)

Esse paper, seguindo o conhecimento produzido pelas químicas e a forma como se relacionam com ele (a forma que o discurso sobre essa prática denuncia), procurou investigar a vitalidade dos metais dentro dos corpos humanos. Vimos que tudo, na ontologia das químicas, aponta para a vida dos metais dentro de nossos corpos. E para uma vitalidade intrínseca às próprias substâncias, não uma vitalidade coordenada por um princípio vital externo às substâncias (como uma alma ou mente).

Perguntamos às químicas se o ferro fora do corpo está vivo. A resposta tende a ser um “não”. Num vergalhão de ferro, essa substância estaria morta. Morta em contraposição à mesma substância dentro do corpo, onde parece viva, pois faz milhares de coisas num cotidiano muito agitado. A contraposição é englobada pelo contraste vivo/não vivo hegemônico de uma escala humana: dentro de um corpo vivo, o ferro faz coisas e vive. Dentro de uma coisa morta, mesmo que o ferro faça coisas, está morto (o ferro continua a trocar elétrons com o mundo, enferrujando). Esse englobamento da perspectiva da escala humana gera a hesitação que não existia na escala nanométrica, afinal, somos pessoas que vivem no mundo.

Perguntamos, então, sobre o ferro que se esvai para fora do corpo num sangramento: ele é diferente do ferro que estava dentro do corpo? Ele morre ao sangrarmos? A resposta é uma hesitação e um “não”... O ferro continua o mesmo, fazendo as mesmas coisas. Dois questionamentos e duas respostas contraditórias. Vivo e não vivo, o metal é a hesitação das químicas.

BIBLIOGRAFIA

- Abrahamsson, S.; Bertoni, F.; Mol, A.; Martín, R.I. 2015. Living with omega-3: New materialism and enduring concerns. *Environment and Planning D: Society and Space* 33: 4–19.
- Almeida, M.W.B. 2021. Anarquismo ontológico e verdade no Antropoceno. *Ilha Revista de Antropologia* 23: 10–29.
- Banerjee, S.; Banerjee, S. 2022. Metal-Based Complexes as Potential Anti-cancer Agents. *Anti-Cancer Agents in Medicinal Chemistry (Formerly Current Medicinal Chemistry-Anti-Cancer Agents)* 22: 2684–2707.
- Bellacasa, M.P. de la. 2017. *Matters of care: Speculative ethics in more than human worlds*. Vol. 41. University of Minnesota Press, Minnesota.
- Bennett, J. 2010. *Vibrant matter: A political ecology of things*. Duke University Press, Durham.
- Cassandri, M.; Smirnov, A.; Novelli, F.; Pitolli, C.; Agostini, M.; Malewicz, M.; et al. 2017. Zinc-finger proteins in health and disease. *Cell death discovery* 3: 1–12.
- Daston, L. 2012. The glass flowers. In: *Regula Dettwiler–It’s My Nature*, modo Verlag, p.73–75.
- De Chadarevian, S.; Hopwood, N. 2004. *Models: the third dimension of science*. Stanford University Press, Redwood City.
- De la Cadena, M. 2010. Indigenous cosmopolitics in the Andes: Conceptual reflections beyond “politics.” *Cultural anthropology* 25: 334–370.
- De Landa, M. 2021. *A thousand years of nonlinear history*. Princeton University Press.
- Ferreira, A.M.C.; Santos, M.L.P.S.; Pereira, E.M.; Damasceno, M.O.; Alves, W.A. 2000. Mimics of Copper Proteins: Structural and Functional Aspect. *Anais Da Academia Brasileira de Ciências* 72: 51.
- Francoeur, E. 2001. Molecular models and the articulation of structural constrains in chemistry. In: *Ursula Klein (Ed.) Tools and Modes of Representarion in the Laboratory Sciences.*, Springer Science, Business Media, Berlin, p.95–118.
- Horký, P.; Grabic, R.; Grabicová, K.; Brooks, B.W.; Douda, K.; Slavík, O.; et al. 2021. Methamphetamine pollution elicits addiction in wild fish. *Journal of Experimental Biology* 224: jeb242145.
- Ingold, T. 2012. Trazendo as coisas de volta à vida: emaranhados criativos num mundo de materiais. *Horizontes antropológicos* 18: 25–44.
- Kirksey, E. 2017. *Caring as Chemo-Ethnographic Method*. Society for Cultural Anthropology. (<https://culanth.org/fieldsights/caring-as-chemo-ethnographic-method>). Accessed on 17 Jul. 2023.
- Latour, B. 1990. Drawing things together. In: *Michael Lynch (Org.) Representation in Scientific Practice.*, MIT Press, Cambridge, p.19–68.
- Latour, B. 2019. *Políticas da natureza: como associar as ciências à democracia*. Editora unesp, São Paulo.
- Machado, I.J.R. 2019. Ethnographic life: Method for an ex post facto anthropology. *Anthropologica* 61.
- Machado, I.J.R. 2023. *A memória como campo etnográfico: antropologia ex post facto*. Papéis Selvagens, Rio de Janeiro.
- Milto, I.; Suhodolo, I.; Prokopiéva, V.; Klimenteva, T. 2016. Molecular and cellular bases of iron metabolism in humans. *Biochemistry (Moscow)* 81: 549–564.

- Myers, N. 2008. Molecular Embodiments and the Body-work of Modeling in Protein Crystallography. *Social Studies of Science* 38: 163–199.
- Nikolaou, S.; da Silva, C.F. 2018. Considerações sobre textos que tratam do desenvolvimento de metalofármacos de rutênio. *Química Nova* 41: 833–838.
- Pandian, A. 2016. Plastic. Theorizing the Contemporary. *Fieldsights* 21.
- Passos, C.J.; Mergler, D. 2008. Exposição humana ao mercúrio e efeitos adversos à saúde na Amazônia: uma revisão. *Cadernos de Saúde Pública* 24: s503–s520.
- Povinelli, E.A. 2016. *Geontologies: A requiem to late liberalism*. Duke University Press, Durham.

- Ramberg, P.J. 2001. Paper tools and fictional worlds: predictions, synthesis and auxiliary hypotheses in chemistry. In: *Ursula Klein (Ed.) Tools and Modes of Representation in the Laboratory Sciences.*, Springer Science, Business Media, Berlin, p.61–79.
- Rayner-Canham, G.; Overton, T. 2003. *Descriptive inorganic chemistry*. Macmillan.
- Roberts, J.A. 2010. Reflections of an unrepentant plastiphobe: Plasticity and the STS life. *Science as Culture* 19: 101–120.
- Shapiro, N.; Kirksey, E. 2017. Chemo-ethnography: An introduction. *Cultural Anthropology* 32: 481–493.
- Stengers, I. 1996. *Cosmopolitiques I. La Guerre des Sciences*. La Découverte; Le Plessis-Robinson (Essonne): Synthélabo, Paris.
- Thacker, E. 2005. Biophilosophy for the Twenty-First Century. *CTheory* Setembro.
- Toma, H.E. 2015. *Química bioinorgânica e ambiental*. Vol. 5. Editora Blucher.
- Tsing, A.L. 2015. *The Mushroom at the End of the World*. Princeton University Press.
- Tyler, C.; Stumper, J.; Jobling, S. 1997. Environmental oestrogens and sexual development in fish. *Freshwater Forum* 5: 154–157.
- Woolgar, S.; Latour, B. 1997. *A vida de laboratório*. Relume-Dumará, Rio de Janeiro.
- Yu, F.; Cangelosi, V.M.; Zastrow, M.L.; Tegoni, M.; Plegaria, J.S.; Tebo, A.G.; et al. 2014. Protein design: toward functional metalloenzymes. *Chemical reviews* 114: 3495–3578.

Este preprint foi submetido sob as seguintes condições:

- Os autores declaram que estão cientes que são os únicos responsáveis pelo conteúdo do preprint e que o depósito no SciELO Preprints não significa nenhum compromisso de parte do SciELO, exceto sua preservação e disseminação.
- Os autores declaram que os necessários Termos de Consentimento Livre e Esclarecido de participantes ou pacientes na pesquisa foram obtidos e estão descritos no manuscrito, quando aplicável.
- Os autores declaram que a elaboração do manuscrito seguiu as normas éticas de comunicação científica.
- Os autores declaram que os dados, aplicativos e outros conteúdos subjacentes ao manuscrito estão referenciados.
- O manuscrito depositado está no formato PDF.
- Os autores declaram que a pesquisa que deu origem ao manuscrito seguiu as boas práticas éticas e que as necessárias aprovações de comitês de ética de pesquisa, quando aplicável, estão descritas no manuscrito.
- Os autores declaram que uma vez que um manuscrito é postado no servidor SciELO Preprints, o mesmo só poderá ser retirado mediante pedido à Secretaria Editorial do SciELO Preprints, que afixará um aviso de retratação no seu lugar.
- Os autores concordam que o manuscrito aprovado será disponibilizado sob licença [Creative Commons CC-BY](#).
- O autor submissor declara que as contribuições de todos os autores e declaração de conflito de interesses estão incluídas de maneira explícita e em seções específicas do manuscrito.
- Os autores declaram que o manuscrito não foi depositado e/ou disponibilizado previamente em outro servidor de preprints ou publicado em um periódico.
- Caso o manuscrito esteja em processo de avaliação ou sendo preparado para publicação mas ainda não publicado por um periódico, os autores declaram que receberam autorização do periódico para realizar este depósito.
- O autor submissor declara que todos os autores do manuscrito concordam com a submissão ao SciELO Preprints.