



O Zinco no
Meio Ambiente
compreendendo a ciência



Introdução

O zinco é um mineral essencial de "excepcional importância biológica e para a saúde pública", e é considerado pelas Nações Unidas um "Produto que Salva Vidas". ^{[1], [2]}

Devido às suas propriedades únicas, o zinco é usado em uma ampla variedade de produtos para consumo, infraestrutura, agricultura e indústria. E, de uma maneira ainda mais importante, o zinco é essencial à vida, desempenhando um importante papel nos processos biológicos de todos os organismos vivos (seres humanos, animais e plantas). O zinco é crucial para a divisão celular, a síntese de proteínas, o sistema imunológico e o crescimento.

Dois bilhões de pessoas, principalmente no mundo em desenvolvimento, são afetadas pela deficiência de zinco, e pelas questões de saúde relacionadas. As crianças abaixo de cinco anos de idade encontram-se especialmente vulneráveis. Estima-se que 450.000 crianças estejam em risco de morrer a cada ano como resultado da pequena quantidade de zinco presente em suas dietas.

O impacto ambiental do zinco - e de todos os elementos essenciais - não pode ser avaliado da mesma maneira que os compostos químicos feitos pelo homem. A biodisponibilidade do zinco (ou sua presença em uma forma que esteja disponível para a ingestão por organismos) é determinada por interações complexas com o meio ambiente, dependendo fortemente das características

daquele ambiente.

A intenção deste documento é descrever as muitas interações que ocorrem entre o zinco e os meios nos quais ele reside que desempenham um papel crítico na avaliação dos efeitos ambientais do zinco.

Ocorrência Natural

O zinco é o vigésimo-quarto elemento mais abundante na crosta terrestre, presente desde a formação da superfície do planeta. Toda a vida na Terra se desenvolveu na presença do zinco.

A concentração do zinco na natureza sem a influência adicional das atividades humanas (emissões antropogênicas) é denominada "emissão natural". Os níveis de emissão natural na superfície da água, do solo e das rochas variam ao longo de uma ampla faixa de concentrações. Os níveis naturais de zinco no solo e na rocha tipicamente variam entre 10 e 300 miligramas por quilo, e o zinco nos rios varia de menos de 10 microgramas por litro até mais de 200 microgramas.

O Ciclo do Zinco Através da Natureza

Através dos processos naturais de erosão, uma pequena parte do zinco no solo, na rocha e nos sedimentos é movimentada constantemente,

sendo transportada através do ambiente. A chuva, a neve, o gelo, o calor solar e o vento erodem as rochas e o solo que contêm zinco. O vento e a água conduzem minúsculas quantidades de zinco aos lagos, rios e mar, onde é coletado como sedimento, ou transportado para ainda mais longe. Os fenômenos naturais, tais como as erupções vulcânicas, incêndios florestais, tempestades de poeira e borrifos da água do mar também contribuem com o contínuo ciclo do zinco através da natureza. Estima-se que estas emissões naturais de zinco cheguem a 5,9 milhões de toneladas métricas a cada ano. ^[3]

As atividades humanas não se acrescentam à quantidade de zinco em uma escala global. Porém, a mineração remove o zinco de uma parte do mundo, e a produção de bens e o uso do zinco transportam-no para outras partes, mudando assim a concentração local de zinco. Isto é conhecido como emissão antropogênica, a qual é estimada em 57 mil toneladas métricas por ano. ^[4]

As fontes potenciais das emissões antropogênicas de zinco incluem a produção e o processamento do zinco nos produtos; as emissões das usinas geradoras e de outras fontes municipais e industriais não relacionadas à indústria do zinco, e certas aplicações do zinco em que a corrosão ou a abrasão podem resultar em pequenas liberações de zinco ao meio ambiente, embora estas geralmente sejam de grande dispersão na natureza.

Em uma escala global, a influência dos processos cíclicos naturais do zinco sobre os níveis ambientais de zinco é muito mais importante do que a influência a partir da atividade humana. Contudo, em uma escala local, as emissões antropogênicas podem, em alguns locais, superar os processos naturais.





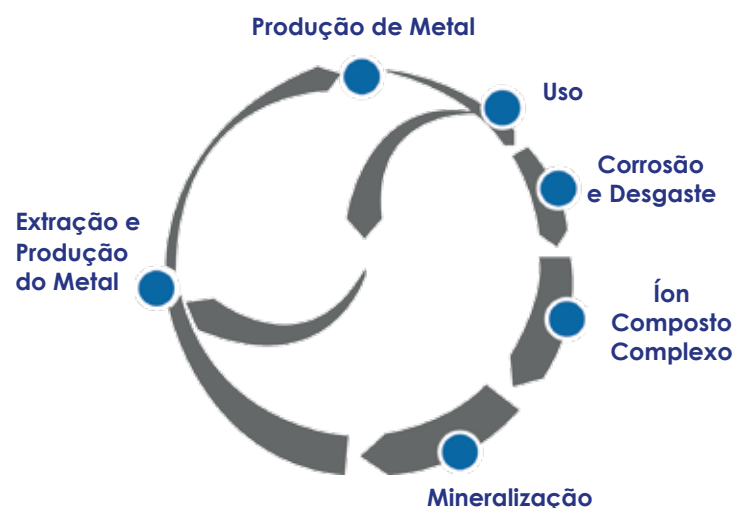
O Destino Ambiental do Zinco

O zinco liberado ao meio ambiente segue um 'ciclo natural' (figura 1), no qual o zinco proveniente dos corpos minerais é convertido, por meio dos processos de extração e de refino, de seu estado mineral (principalmente a esfalerita, sulfeto de zinco (ZnS)) para o estado metálico.^[5] A maior parte deste metal terá uma longa vida útil nas aplicações em metais estáveis, sendo recuperada e reciclada ao fim da vida. O zinco metálico que é exposto à atmosfera poderá estar sujeito à corrosão, o que resultará em uma liberação lenta de pequenas quantidades de zinco no meio ambiente.

O zinco metálico também é transformado em compostos de zinco (por exemplo, óxido de zinco, cloreto de zinco, fosfato de zinco) que são usados em uma grande variedade de aplicações. Estes usos também podem resultar em pequenas liberações difusas. Por exemplo, o óxido de zinco é um ingrediente necessário na fabricação da borracha. Esta é usada para fabricar pneus, e à medida que os pneus se desgastam, pequenas quantidades desses compostos de zinco são liberadas no meio ambiente das rodovias.

Durante a fase de produção e uso do zinco, os compostos de zinco com solubilidade variável podem ser formados e liberados no meio ambiente. Além dessas emissões relacionadas à

Figura 1: O Ciclo Natural do Zinco



atividade humana, um fluxo natural de zinco sempre estará circulando no meio ambiente devido aos processos naturais das intempéries e da erosão. Todos estes processos mobilizam inúmeros compostos de zinco no meio ambiente.

Uma vez mobilizado, o zinco interage com os diferentes componentes da água, dos sedimentos e do solo, e acaba se partindo em diferentes fracionamentos nestes compartimentos ambientais. Esta interação, bem como os processos dinâmicos envolvidos, define em última análise o destino ambiental do zinco, isto é, as formas pelas

quais o metal estará presente no meio ambiente e nas quais o zinco finalmente irá se alojar. Com relação a isto, a maior parte do zinco irá retornar para a forma química estável, frequentemente ZnS, a partir da qual o metal foi originalmente minerado. Esta "mineralização" de volta às formas químicas estáveis encerra o "ciclo natural".

As formas originais e finais do zinco (principalmente o ZnS) são muito estáveis, e o zinco contido possui uma solubilidade muito baixa e um potencial muito baixo de absorção pelos organismos ("biodisponibilidade"). Como resultado, ao se considerar os riscos potenciais relacionados à presença do zinco no meio ambiente, a atenção é focalizada menos nas fases de 'início' e 'fim' (ZnS), mas, ao invés disto, nas complexas interações entre o zinco e os diferentes compartimentos ambientais onde o zinco encontra-se 'biodisponível' para a absorção pelos organismos.

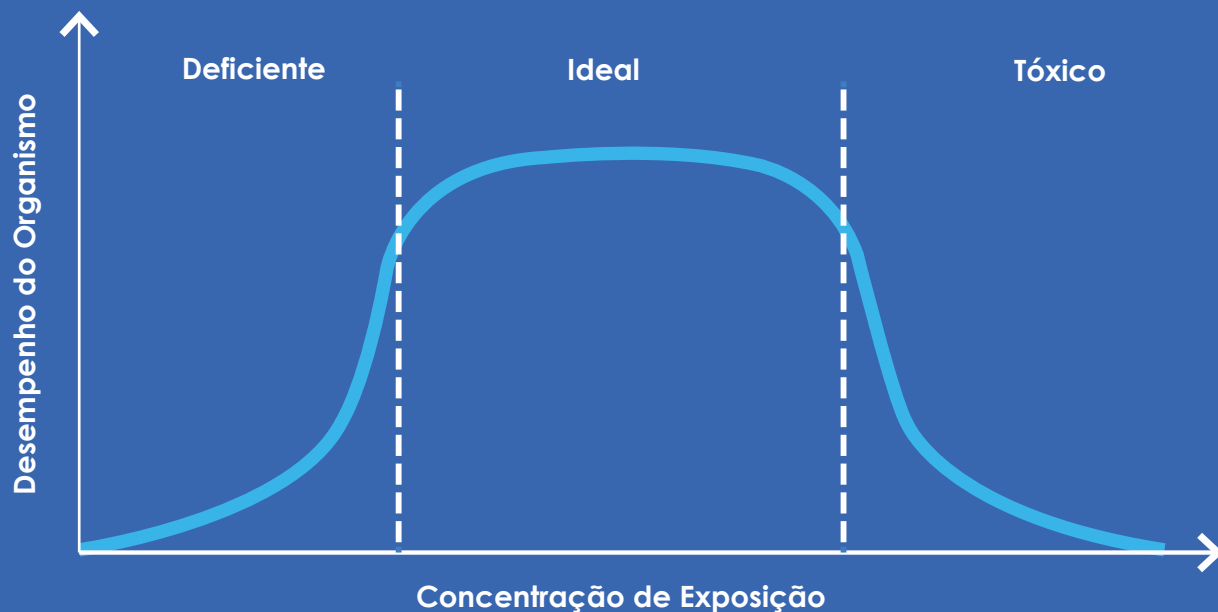
A avaliação dos riscos ambientais concentra-se na avaliação de tais frações biodisponíveis no meio ambiente.

Efeitos Ambientais do Zinco

O impacto ambiental do zinco - e de todos os elementos essenciais - não pode ser avaliado da mesma maneira que os compostos químicos produzidos pelo homem. Devido ao fato de que o zinco ocorre naturalmente, eliminá-lo do ambiente não seria possível. E, mais ainda, pelo fato de o zinco ser essencial, atingir tal objetivo encadearia efeitos prejudiciais por todo um ecossistema. Em outras palavras, 'menos' não é necessariamente 'melhor'.

Para elementos essenciais tais como o zinco, os efeitos ambientais precisam ser levados em conta no contexto da capacidade natural de um organismo de regular (absorver e eliminar) e manter um certo nível de homeostase. Isto é, os ambientes que contêm zinco em concentrações muito baixas ou muito altas podem produzir efeitos indesejáveis. A faixa entre o mínimo e o máximo é frequentemente chamada de intervalo de essencialidade ideal (Figura 2). Os organismos desenvolveram mecanismos para suprir suas necessidades independentemente da concentração externa, pela regulação de um elemento essencial em níveis internos constantes. ^[6]

Figura 2: Cada organismo tem uma Faixa de Concentração Ideal para os Elementos Essenciais, dentro da qual é possível regular seus níveis internos de zinco, de tal modo que os seus requisitos metabólicos sejam satisfeitos.





O impacto ambiental do zinco - e de todos os elementos essenciais - não pode ser avaliado da mesma maneira que os compostos químicos produzidos pelo homem.

Caracterização de Risco do Zinco

A caracterização de risco para os metais evoluiu significativamente ao longo das últimas décadas, e atualmente incorpora os conceitos de biodisponibilidade. O termo biodisponibilidade se refere à forma (espécie) de um metal que seja capaz de adentrar um organismo e produzir um efeito. Para o zinco, a espécie tipicamente considerada como sendo a fonte de toxicidade (biodisponível) é o íon livre e não combinado em complexos (Zn^{2+}). No entanto, devido ao fato de o zinco interagir com vários constituintes da água, do solo e dos sedimentos, ele pode existir como muitos complexos diferentes. (Figura 3)

Na água, as concentrações de zinco têm sido tradicionalmente consideradas com base nas frações totais (todo o pool de zinco em uma amostra) ou dissolvidas (os complexos que podem passar através de um filtro de 0,45 micrômetros). No entanto, mesmo seguindo a filtração em níveis microscópicos, a fração dissolvida contém muitos complexos de zinco que não íons livres.

Por exemplo, aumentos no pH, alcalinidade ou matéria orgânica natural tenderiam a diminuir a biodisponibilidade do zinco, por meio da formação de complexos. Do mesmo modo, a biodisponibilidade do zinco poderia também ser afetada por meio da competição com outros íons positivamente carregados (cálcio, magnésio, sódio, etc.).

Embora a pesquisa pela biodisponibilidade nos sedimentos e nos solos siga uma contextualização conceitualmente semelhante à da água, outros constituintes precisam ser levados em conta. Para os sedimentos, o zinco apresenta potencial para formar complexos com os óxidos de ferro e manganês (minerais) ou com a matéria orgânica, ou no caso dos sedimentos anaeróbios, com os sulfetos.^[7] Para os solos, o zinco é fortemente absorvido às fases minerais (óxidos, sílica, carbonato, partículas de argila) e à matéria orgânica, e a absorção tende a aumentar com o aumento de pH.^[8] Como resultado, o zinco nos sedimentos e no solo encontra-se disponível para a

formação de complexos com estes compostos/superfícies adicionais, deste modo diminuindo a sua forma biodisponível e potencial toxicidade para os organismos.

Em resumo, a biodisponibilidade do zinco é determinada pelas interações complexas com o meio ambiente, dependendo fortemente das características deste meio ambiente. Para compreender as muitas interações que ocorrem entre o zinco e os meios nos quais ele se encontra, ferramentas computacionais foram desenvolvidas para caracterizar, de maneira eficiente, os cenários específicos a cada região. Como resultado, os níveis de proteção ambiental para o zinco tipicamente não são mais expressos como um valor único; ao invés disto, eles flutuam com a capacidade de melhorias do meio de interesse.

Gerenciamento de Risco do Zinco

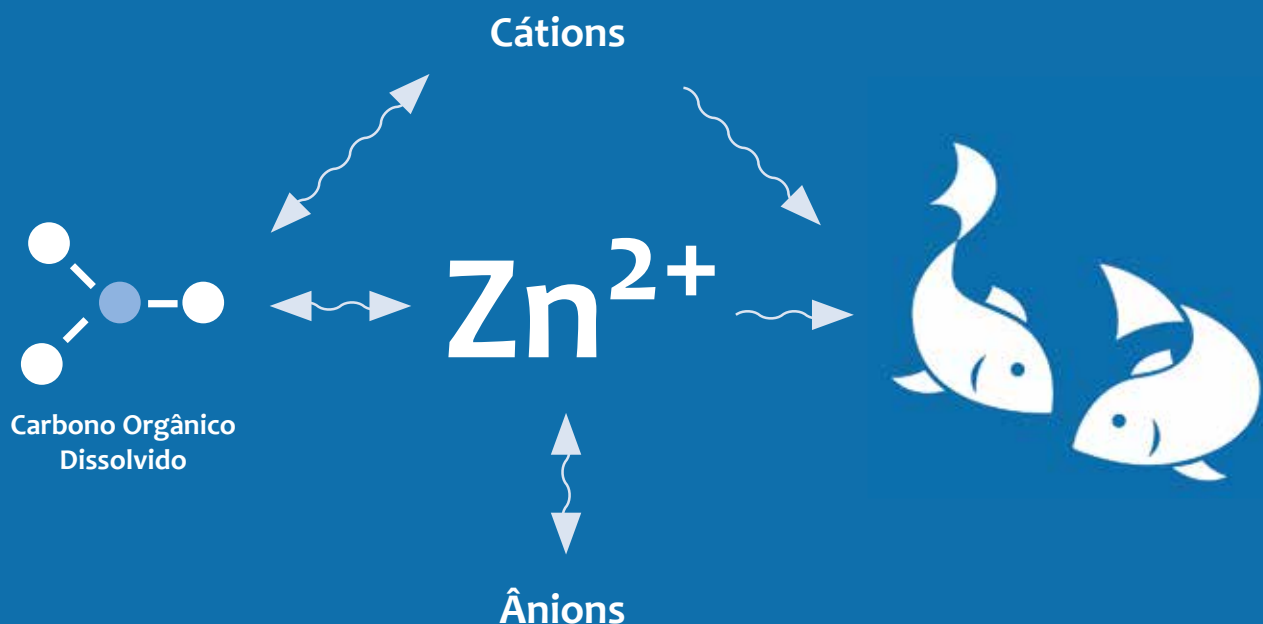
O objetivo do gerenciamento de riscos é garantir que as concentrações biodisponíveis de zinco no ambiente permaneçam bem abaixo dos níveis "sem efeito" previstos (por exemplo, padrões ambientais de qualidade).

As concentrações de zinco no ambiente resultam não apenas da produção de zinco e do uso do zinco nos produtos, mas também da emissão natural e das outras fontes não intencionais, onde o zinco é emitido devido à sua presença nas matérias-primas, por exemplo, na queima dos combustíveis fósseis.

As avaliações recentes de risco na Europa vêm demonstrando que o atual uso geral e amplo do zinco nos produtos não resulta em riscos para os solos agrícolas, os solos à beira das estradas ^[9] e para a qualidade da água em geral. ^[10] Além disto, demonstrou-se recentemente que o desperdício de produtos de zinco não reciclado e de outros materiais contendo zinco não apresenta um risco ambiental. ^[11]

Ao longo das últimas décadas, as emissões de zinco oriundas da produção e processamento de zinco foram substancialmente reduzidas por melhorias nos processos e pela progressiva implementação de técnicas mais eficientes de diminuição nas emissões. Como resultado, as emissões atuais oriundas dos processos industriais estão limitadas.

Figura 3. Interações químicas e biológicas influenciando a biodisponibilidade do zinco





Conclusões

A avaliação ambiental dos metais requer uma abordagem baseada na ciência, por conta da ocorrência natural dos metais, pelas grandes variações na especiação dos metais afetando a biodisponibilidade e toxicidade dos metais, e - para metais como o zinco - o seu caráter essencial para todos os organismos vivos.

A distribuição, o transporte e os efeitos (biodisponibilidade) do zinco na água, nos sedimentos e no solo dependem grandemente das características químicas e físicas específicas dos locais no ambiente, e das condições dos organismos, por exemplo, a idade, o tamanho, a história anterior de exposição. Deste modo, a avaliação ambiental do zinco precisa levar em conta estes fatores para ser significativa.

Os estudos utilizando abordagens que constituem o que há de mais avançado na ciência concluíram que os usos atuais do zinco contribuem com quantidades desprezíveis de zinco biodisponível ao meio ambiente, oferecendo, portanto, um potencial baixo de efeitos ambientais.

"A concentração total de um elemento essencial, tal como o zinco isolado, não constitui uma boa previsão de sua biodisponibilidade ou toxicidade."

- Programa Internacional sobre os Critérios de Saúde Ambiental para a Segurança Química do Zinco (IPCS)



Estudo de Caso: Compreendendo as Fontes e os Ciclos do Zinco na Bacia do Rio Reno

As agências reguladoras frequentemente identificam e implementam estratégias de redução de riscos em locais onde a monitoração dos dados sugere que os padrões ambientais de qualidade (EQS) não estejam sendo cumpridos. Muitas destas jurisdições também não utilizam a ciência de vanguarda ao considerar o risco atribuído à exposição a metais, por exemplo, os modelos de biodisponibilidade tais como o Modelo do Ligante Biótico. Como resultado, as agências reguladoras frequentemente atribuem a carga de excessos locais às aplicações óbvias de uso do zinco, tais como as estruturas galvanizadas ou os materiais de construção feitos de folhas de zinco.

Em um esforço para desenvolver um entendimento bem-informado da maneira pela qual os atuais produtos e fontes de zinco contribuem para as cargas ambientais nas bacias hidrográficas urbanas, os cientistas da

Universidade de Osnabrück, na Alemanha, estudaram amplamente as fontes e os ciclos do zinco no Rio Reno. De 2006 a 2009, as cargas de zinco das diferentes fontes de emissão, incluindo as cargas naturais (por exemplo, geológicas) e antropogênicas (por exemplo, as fábricas de zinco e/ou suas aplicações) nas subcaptações do Rio Reno foram identificadas e quantificadas utilizando o modelo GREATER (Ferramenta de Avaliação Regional Georeferenciada para os Rios Europeus).

O estudo concluiu que os usos atuais do zinco nesta região não resultavam em problemas na qualidade da água, e que as ocorrências de concentrações de zinco acima da EQS eram o resultado de resíduos naturais e de fontes de mineração históricas. Por contraste, o estudo concluiu que as atuais operações da indústria e da mineração realizavam contribuições desprezíveis de zinco no Reno.





Associação Internacional do Zinco: Bruxelas • Deli • Durham • Johannesburgo • Lima • São Paulo • Xangai

Tel: +55 11 3214 1311 Fax: +55 11 3214 1311 Email: contact@zinc.org

Para mais informações, visite: www.zinc.org/environment