



# BARREIRAS NATURAIS CONTRA METAIS TÓXICOS

Plantas como árvores de manguezais, arroz e outras, que vivem em ambientes alagados e pobres em oxigênio, têm a capacidade de formar, em suas raízes, barreiras naturais que as protegem de metais tóxicos. Essas barreiras, conhecidas no meio científico como ‘placas de ferro’, capturam elevadas concentrações de metais tóxicos e os imobilizam por tempo indeterminado, evitando que sejam absorvidos por pequenos organismos e cheguem a outros níveis da cadeia alimentar. Isso significa que a destruição ou degradação das plantas desses ambientes favorece a liberação dos metais tóxicos capturados pelas placas, aumentando o risco de contaminação de animais aquáticos e de danos à saúde dos humanos que os consomem.

**Anderson de Carvalho Borges**

**Leonardo Silveira Villar**

*Programa de Pós-graduação em Geoquímica Ambiental,  
Universidade Federal Fluminense*



**E**m ambientes alagados, como brejos, lagoas, mangues e outros, a presença da água restringe o contato da superfície com a atmosfera, o que reduz a aeração natural do sedimento. Com isso, as concentrações de oxigênio nos sedimentos submersos podem atingir valores próximos do zero (condição conhecida como anoxia), favorecendo o desenvolvimento de micro-organismos anaeróbios, capazes de sobreviver em ambientes desse tipo. Muitos desses micro-organismos dependem do oxigênio, e precisam obter esse elemento de compostos nos quais está ligado a elementos químicos como ferro, manganês, enxofre e outros. Assim, os micro-organismos induzem a quebra desses compostos, aproveitando o oxigênio e liberando para o ambiente os outros componentes, entre eles metais potencialmente tóxicos e gases (por exemplo, o gás sulfídrico,  $H_2S$ ) que podem prejudicar a saúde das plantas e até causar sua morte.

Algumas plantas, porém, adquiriram ao longo da evolução adaptações que as ajudam a suportar a baixa oxigenação em ambientes alagados. Uma dessas modificações é a presença em algumas espécies, como as árvores dos manguezais, de raízes que saem do

solo (raízes aéreas) e permitem trocas gasosas com a atmosfera. Outra adaptação que favorece sua sobrevivência em sedimentos com pouco oxigênio é o transporte desse elemento para as raízes subterrâneas e sua 'injeção' no solo encharcado próximo a estas.

O oxigênio é captado da atmosfera por meio de órgãos especializados situados nas partes expostas da planta (folhas, extensões de troncos e raízes aéreas). Esses órgãos – estômatos e lenticelas – são diminutos poros no tecido vegetal que facilitam as trocas gasosas com o ambiente. Uma vez captado, o oxigênio é transportado, em um tecido esponjoso denominado aerênquima, para as raízes subterrâneas e injetado no sedimento em seu entorno, na região conhecida como rizosfera. Com isso, há um aumento na concentração de oxigênio nos sedimentos, o que também ajuda na sobrevivência de algumas bactérias úteis às plantas.

Essa injeção de oxigênio no sedimento tem um efeito surpreendente: a formação de uma barreira natural que protege as plantas contra diversos metais potencialmente tóxicos presentes nesses ambientes. A presença do oxigênio no sedimento, junto às raízes, provoca uma reação química que gera ferro oxidado – de fórmula química  $Fe(OH)_2$  – e este se deposita em camadas sobre a superfície dessas raízes. Essas camadas são denominadas 'placas de ferro' (figura 1).

&gt;&gt;&gt;

**Barreira geoquímica** Ambientes alagados próximos de áreas ocupadas por humanos recebem, muitas vezes, volumes crescentes de contaminantes, entre eles metais tóxicos (como arsênio, níquel, cádmio e outros) oriundos de resíduos urbanos, industriais e rurais. Nesses mesmos ambientes, porém, podem ser encontradas plantas que têm a capacidade de imobilizar (sequestrar) esses elementos nas placas de ferro que se formam em suas raízes. As placas, portanto, atuam como uma barreira geoquímica, evitando que os contaminantes fiquem disponíveis no ambiente.

Cientistas de todo o mundo vêm pesquisando de forma intensiva as placas de ferro, para avaliar suas propriedades e encontrar formas de utilizá-las para aumentar a produtividade agrícola. Também têm sido realizados estudos de melhoramento genético, por meio de seleção de plantas, para obter espécimes capazes de formar placas maiores ou mais eficientes na captação de elementos químicos potencialmente nocivos. O objetivo é conseguir variedades de certos alimentos – arroz, por exemplo – que apresentem menores concentrações de metais tóxicos.

No entanto, as placas de ferro também podem representar um grande problema para as plantas. Em certos ambientes com poucos nutrientes (como zinco, selênio, cobre e fósforo) no sedimento, a formação dessas barreiras também imobiliza alguns desses elementos, o que pode provocar deficiência nutricional no vegetal. Já em situações em que o sedimento apresenta uma quantidade satisfatória de nutrientes, as placas de ferro podem atuar como uma reserva para o futuro. Nesse caso, os nutrientes ali armazenados seriam utilizados em algum período de escassez. Isso é possível porque as plantas de ambientes alagados são capazes de modificar a acidez do sedimento e solubilizar as placas de ferro, em caso de deficiência nutricional. Essa habilidade, porém, varia em diferentes espécies e em diferentes ambientes.

**A formação das placas** As placas de ferro podem ser formadas por minerais como os óxidos de ferro ferridrita (de fórmula  $\text{Fe}_5\text{HO}_8 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ) e goethita ( $\alpha\text{-Fe}(\text{OH})$ ) e pelo carbonato de ferro siderita ( $\text{FeCO}_3$ ). Em geral, o mais abundante nessas estruturas (cerca de 63% do volume total) é a ferridrita.

Estudos realizados pelas equipes de cientistas como o chinês Cy-Chain Chen (em 1980) e o norte-americano Irving A. Mendelsohn (em 1995) sobre essas barreiras químicas naturais identificaram dois possíveis modelos para sua formação (figura 2). No primeiro, as placas de ferro se desenvolveriam sobre a parede celular das raízes e apresentariam superfície lisa e interior oco. No segundo, elas se formariam após a decomposição da parede celular e teriam superfície áspera, com o interior sólido.

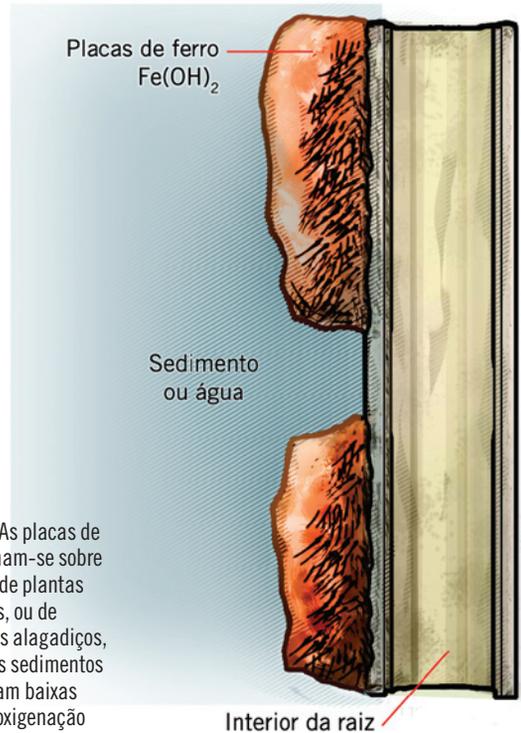


Figura 1. As placas de ferro formam-se sobre as raízes de plantas aquáticas, ou de ambientes alagadiços, quando os sedimentos apresentam baixas taxas de oxigenação

ADAPTAÇÃO DE ST. CYR & CAMPBELL (1996)

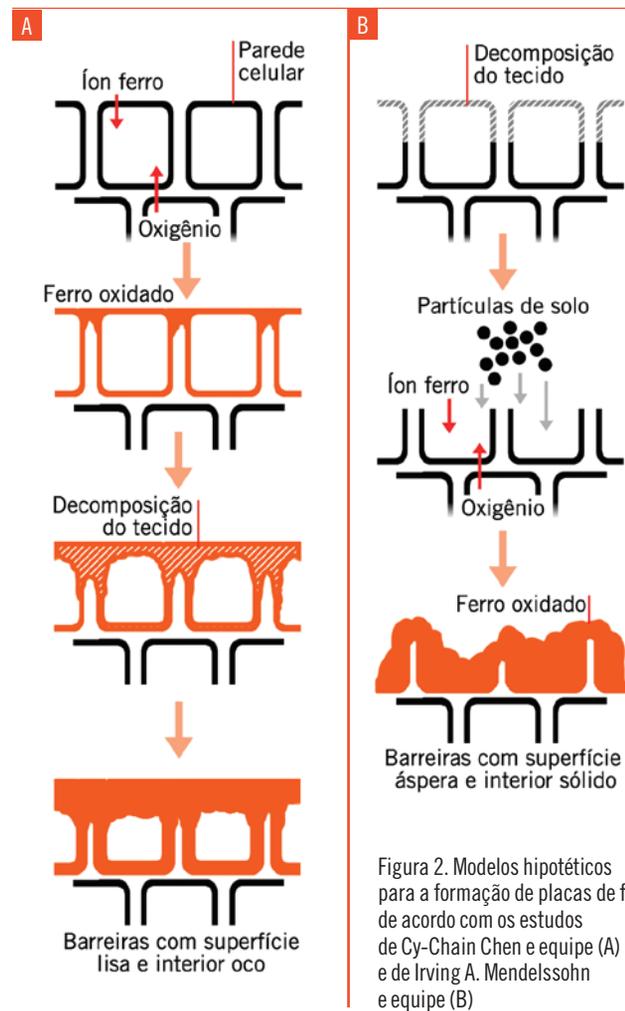


Figura 2. Modelos hipotéticos para a formação de placas de ferro, de acordo com os estudos de Cy-Chain Chen e equipe (A) e de Irving A. Mendelsohn e equipe (B)

ADAPTAÇÃO DE CHEN E OUTROS (1980) E DE MENDELSSOHN E OUTROS (1995)

Pesquisas também estudam o tempo de formação das placas de ferro em diversos vegetais. No arroz, por exemplo, esse tempo é relativamente rápido: varia entre sete e 11 dias, dependendo das características físico-químicas do ambiente. Em alguns casos, as placas de ferro podem ser visualizadas a olho nu, mas em geral as pessoas dificilmente percebem essas formações. Sua aparência, quando visíveis, é a de manchas de cor alaranjada ou avermelhada nas raízes.

Um caso interessante conhecido, no entanto, é o de grossas camadas de placas de ferro encontradas nas raízes de uma gramínea (*Spartina maritima*) que ocorre na Europa e na África, e no litoral do mar Mediterrâneo e do oceano Atlântico. Essas placas, observadas pelo oceanógrafo norueguês Bjorn Sundby e colaboradores no estuário do rio Tejo, em Portugal, são facilmente percebidas a olho nu – provavelmente é o único lugar do mundo em que isso acontece.

**Fatores ambientais** Além do baixo teor de oxigênio nos sedimentos, outros fatores podem contribuir ou não para a formação de placas de ferro. Entre esses fatores estão características genéticas das plantas, que podem variar entre espécies diferentes e mesmo em indivíduos da mesma espécie. Outro fator é o tamanho e a qualidade dos grãos que compõem os sedimentos: teoricamente, maiores percentuais de argila (grãos menores) conteriam mais ferro, favorecendo a formação das barreiras, e maiores percentuais de areia (grãos maiores) conteriam menos ferro e poderiam limitar seu desenvolvimento.

As estações do ano também são fatores importantes, pois o crescimento das placas varia conforme a taxa de fotossíntese, e esta é alterada de acordo com a intensidade da luz solar, diferente em cada estação. A acidez ou alcalinidade do sedimento (medida pelo potencial de íons hidrogênio, ou pH) também pode influir na formação das barreiras: pH entre 3 e 4,6 aumenta a solubilidade do ferro e favorece o deslocamento do íon  $Fe^{2+}$  no sedimento, mas se o pH for maior que 4,6 ocorre o inverso, com menor deslocamento de  $Fe^{2+}$  e redução da formação das placas.

Finalmente, a quantidade de matéria orgânica (resíduo de vegetais e animais mortos) presente no sedimento também pode afetar o processo, porque esse material tende a ‘sequestrar’ o ferro, dificultando a formação das placas. Em contrapartida, no processo de decomposição de matéria orgânica, os micro-organismos que fazem esse ‘trabalho’ consomem boa parte do oxigênio do sedimento, o que diminui os teores de oxigênio e estimula o desenvolvimento dessas barreiras.

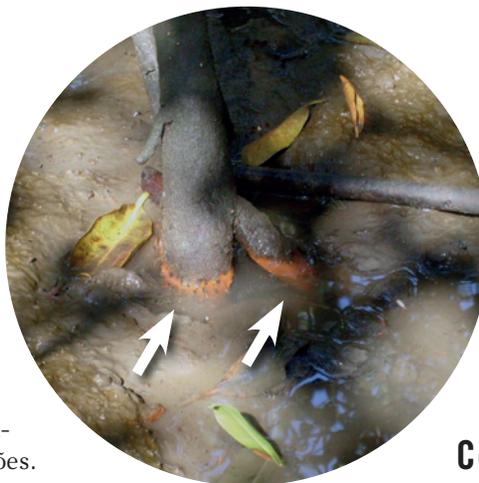


Figura 3. As árvores do mangue-vermelho (*Rhizophora mangle*) são bem adaptadas às condições dos manguezais. Nas raízes dessa espécie, assim como em outras plantas que conseguem viver em áreas alagadas, formam-se camadas alaranjadas de óxidos ferrosos, conhecidas como placas de ferro (setas), que retêm metais tóxicos

## Conhecer e conservar

A atuação das placas de ferro, presentes nas raízes de muitas plantas (figura 3), como barreiras biogeoquímicas, na captura e imobilização de grandes quantidades de metais tóxicos encontrados em sedimentos de áreas alagadas, já foi demonstrada por muitas pesquisas científicas. Por isso, é de grande importância conservar esse tipo de planta (como árvores de manguezais e outras espécies de áreas alagadiças) e recompor essa vegetação em áreas degradadas. Essa atitude ajudará a manter imobilizados diversos contaminantes químicos, evitando que se tornem uma ameaça para esses ambientes e para os organismos que os habitam ou que os visitam em busca de alimentos.

A retirada dessa vegetação, ou sua degradação, como costuma acontecer com a expansão de áreas urbanas, modifica drasticamente as condições físicas, químicas e biológicas da rizosfera. Nessas condições alteradas, os metais tóxicos, antes armazenados nas placas de ferro, podem ser liberados para o ambiente e entrar na cadeia alimentar do local e de áreas adjacentes, gerando consequências como danos a saúde – ou até a morte – de diversos seres vivos, desde pequenos organismos até peixes, aves e humanos. **CR**

## Sugestões para leitura

- CHEN, C. C.; DIXON, J. B. e TURNER, F. T. 'Iron coatings on rice roots: mineralogy and quantity influencing factors', em *Soil Science Society of America Journal*, v. 44, p. 635, 1980.
- LACERDA, L. D.; CARVALHO, C. E. V.; TANIZAKI, K. F.; OVALLE, R. C. e REZENDE, C. E. 'The biogeochemistry and trace metals distribution of mangrove rhizospheres', em *Biotropica*, v. 23(3), p. 252, 1993.
- MACHADO, W.; GUEIROS, B. B.; LISBOA-FILHO, S. D. e LACERDA L. D. 'Trace metals in mangrove seedlings: role of iron plaque formation', em *Wetlands Ecology and Management*, v. 13, p. 199, 2005.
- MENDELSSOHN, I. A.; KLEISS, B. A. e WAKELEY, J. S. 'Factors controlling the formation of oxidized root channels a review', em *Wetlands*, v. 15, p. 37, 1995.
- ST-CYR, L. e CAMPBELL, P. G. C. 'Metals (Fe, Mn, Zn) in the root plaque of submerged aquatic plants collected in situ: relations with metal concentrations in the adjacent sediments and in the root tissue', em *Biogeochemistry*, v. 33, p. 45, 1996.