

## Brasileiros criam bateria capaz de “domar” nióbio para comportar altas densidades de energia

*Dispositivo que cria um ambiente estável para o metal converter energia química em elétrica teve patente depositada e pode ser alternativa às baterias de lítio*



Protótipo da bateria de nióbio, que teve a patente depositada, apresentou operação consistente nos testes, com múltiplos ciclos de carga e descarga, tornando o dispositivo um candidato em potencial para tecnologias de armazenamento de energia livres de lítio – Foto: Cedida pelo pesquisador

O nióbio é um material usado como aditivo em baterias de lítio, mas seu emprego como elemento principal do armazenamento de energia era limitado por sua alta instabilidade. Para superar esse obstáculo, pesquisadores da USP desenvolveram uma bateria capaz de “domar” o nióbio, criando um ambiente estável para permitir que o metal reaja e converta energia química em elétrica. O dispositivo, que teve a patente depositada, tem potencial para a produção de baterias mais seguras e com maior densidade energética, além de reduzir o emprego de matérias-primas como o lítio, o cobalto e o níquel.



Frank Crespilho – Foto: IQSC/USP

“Abundante no Brasil, o nióbio é um metal de transição estratégico, com a capacidade singular de acessar múltiplos estados de oxidação, podendo trocar até cinco elétrons. Do ponto de vista eletroquímico, isso representa um potencial energético muito elevado”, afirma ao **Jornal da USP** o professor Frank Crespilho, do Instituto de Química de São Carlos (IQSC) da USP, coordenador da pesquisa. “Por esse motivo, o nióbio vem sendo pesquisado há anos no contexto de baterias de lítio, geralmente como aditivo, mas não como o elemento ativo central do armazenamento de energia.”

“A principal dificuldade é a altíssima reatividade do nióbio. Em ambientes convencionais, ele oxida de forma descontrolada e cria camadas passivas que bloqueiam a transferência de elétrons”, diz o professor. “Durante décadas, isso foi considerado um bloqueio químico praticamente intransponível”, destaca.

Crespilho faz uma analogia com uma banda de rock para explicar o comportamento químico do metal:

“O nióbio sempre foi como um guitarrista genial, extremamente talentoso, mas impossível de controlar. Se colocado em um ambiente errado, ele entra em feedback, distorce tudo e o show acaba antes de começar”

Por isso, durante muito tempo, “a solução foi deixá-lo no fundo do palco, como coadjuvante, nunca como protagonista”, compara.

“O que fizemos foi criar o ambiente certo, o ‘estúdio’ adequado, onde esse guitarrista pode tocar no limite do seu potencial sem destruir o sistema”, acrescenta o professor. “Ao controlar o ambiente químico ao redor do nióbio, ele passa a operar de forma previsível, reversível e estável, permitindo que finalmente assuma o papel principal em uma bateria, algo que os sistemas eletroquímicos clássicos nunca conseguiram fazer.”

## Inspiração em sistemas biológicos

A pesquisa foi desenvolvida no Grupo de Bioeletroquímica e Interfaces do IQSC, com apoio da doutoranda Luana Italiano e dos pós-doutorandos Graziela Sedenho e Rafael Colombo. “Em 2014, no California Institute of Technology (CalTech), trabalhei com endonucleases – enzimas que usam metais altamente reativos em seus sítios ativos –, e o que me chamou a atenção foi o fato de esses metais não se degradarem, justamente porque a proteína cria um microambiente químico extremamente bem controlado, regulando de forma precisa a coordenação, o acesso do solvente e a transferência eletrônica”, conta Crespilho.

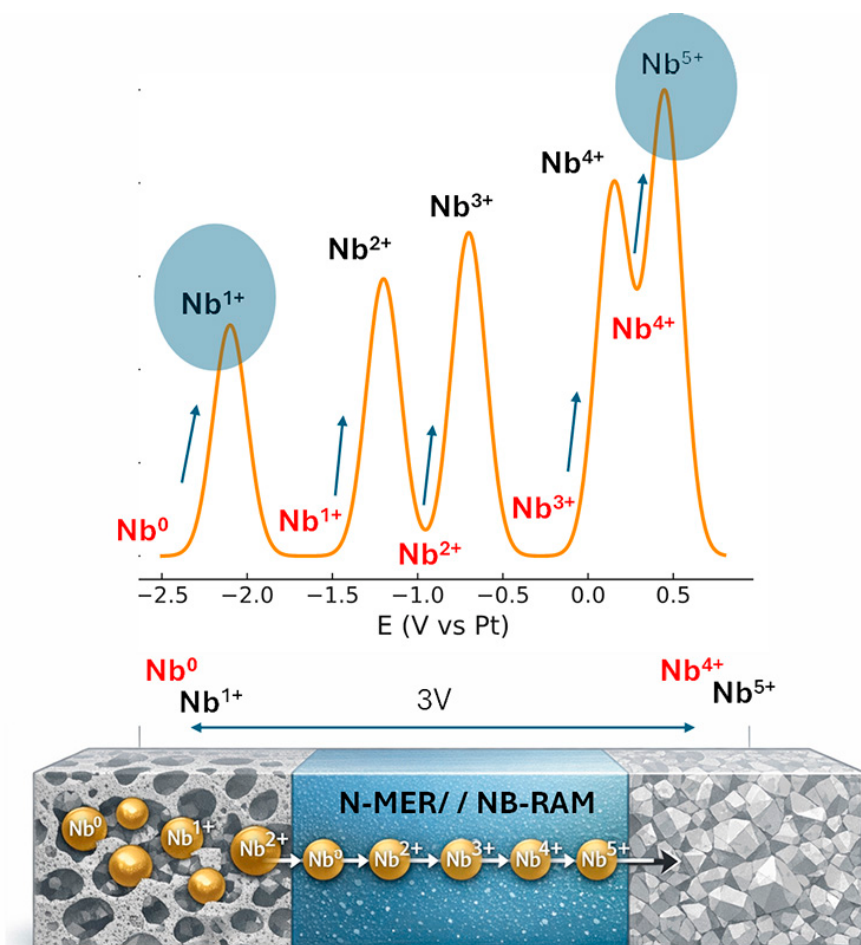
Essa visão se aprofundou mais tarde, em 2018, na Universidade de Harvard, onde ele trabalhou com quinonas bioinspiradas aplicadas a baterias redox. “Ali, ficou claro que a reversibilidade eletroquímica não depende apenas do material em si, mas sobretudo do ambiente molecular que o envolve. Ao transpor esses conceitos para o nióbio, tornou-se evidente que o problema histórico nunca foi o metal, mas o ambiente inadequado em que ele era inserido.”

“Em vez de tentar ‘domar’ o nióbio à força, criamos um microambiente artificial inspirado na biologia, capaz de cooperar com o metal, estabilizar seus estados de oxidação e permitir sua operação reversível”, destaca o pesquisador. “Esse princípio foi central para viabilizar a primeira bateria genuinamente baseada em nióbio, e não apenas em combinações de nióbio com outras químicas convencionais.”

Crespilho explica que o dispositivo funciona a partir de duas camadas complementares. “A primeira é a arquitetura NB-RAM, que cria uma verdadeira ‘caixa de proteção química’ ao redor do nióbio, que controla localmente a coordenação química, a atividade redox e a disponibilidade eletrônica do metal, impedindo oxidações descontroladas”, descreve. “A segunda camada é o que chamamos de N-MER, que pode ser entendido como o mecanismo eletrônico-redox. Ele funciona como um regulador fino e governa a forma como os elétrons entram, são armazenados e saem do nióbio, dentro desse ambiente controlado, funcionando como um regulador fino do fluxo de elétrons.”

“Na prática, essa combinação permite que o nióbio transite entre seus estados de oxidação de forma escalonada, reversível e estável, explorando múltiplos elétrons do mesmo metal”, observa o professor. “Isso viabiliza tensões da ordem de 3 volts, algo inédito para sistemas genuinamente baseados em nióbio.”

Segundo Crespilho, os protótipos demonstraram operação consistente com múltiplos ciclos de carga e descarga, alta reversibilidade eletroquímica e uma janela de potencial significativamente superior à prevista para o nióbio em sistemas eletroquímicos clássicos. “Esses resultados validam o conceito e colocam o nióbio, pela primeira vez, como um candidato real e competitivo para tecnologias de armazenamento de energia livres de lítio.”



Esquema da bateria de nióbio; no gráfico acima, os “níveis de energia” (estados de oxidação) do nióbio, cada pico representa um degrau eletrônico, onde elétrons são liberados ou recebidos de modo controlado; na figura abaixo, estão os materiais N-MER, que mantém nióbio em estruturas estáveis, e NB-RAM, que cria ambiente condutor, resultando em tensão final alta e estável, sem degradar a bateria – Imagem: Cedida pelo pesquisador

## Valor tecnológico, industrial e geopolítico

O professor enfatiza que o depósito da patente foi feito pela USP, assegurando que a propriedade intelectual permaneça no Brasil. “Se olharmos a história das baterias de lítio, houve um longo intervalo entre a ciência fundamental, o reconhecimento do potencial tecnológico e a consolidação industrial, período em que muitos países perderam a oportunidade de capturar valor estratégico, ficando apenas como fornecedores de matéria-prima”, aponta.

No caso da bateria de nióbio, ele acredita que esse caminho pode e deve ser encurtado. A ciência já nasce integrada à aplicação, com um princípio de funcionamento claro e proteção intelectual depositada no Brasil. O passo imediato é acelerar o depósito internacional da patente, de forma coordenada, para garantir segurança jurídica e soberania tecnológica.

"Em seguida, avançamos simultaneamente em engenharia de materiais, escalonamento industrial e validação em protótipos avançados, com testes de durabilidade, segurança e padronização compatíveis com linhas industriais existentes", salienta Crespilho. "A ciência fundamental está feita; agora a prioridade é transformar rapidamente conhecimento em tecnologia, mantendo o controle nacional da inovação desenvolvida na USP e assegurando que o nióbio gere valor tecnológico, industrial e geopolítico para o Brasil."

Mais informações: [frankcrespilho@iqsc.usp.br](mailto:frankcrespilho@iqsc.usp.br), com o professor Frank Crespilho

*Texto: Júlio Bernardes*

*Arte: Daniela Gonçalves – Estagiária sob orientação de Moisés Dorado*

*Jornal da USP*