



Eletricidade

No ar, na água, por toda parte

Doze anos atrás o químico Fernando Galembeck encontrou cargas elétricas espalhadas na superfície e no interior de partículas e filmes de látex naturais e sintéticos. As cargas não deveriam estar lá, mas estavam, contrariando a suposta verdade de que materiais plásticos como aqueles, usados em móveis e computadores, seriam eletricamente neutros. Reunindo resultados similares, Galembeck e sua equipe no Instituto de Química da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) desenvolveram um conjunto de conhecimentos com hipóteses, descobertas e demonstrações – um modelo científico – sobre a assiduidade e as interações das cargas elétricas positivas ou negativas que habitam corpos supostamente neutros.

Os conceitos que emergem na Unicamp e em universidades nos Estados Unidos ampliam as possibilidades de estudo da interação de materiais entre si e com o ambiente – já que o ar e a simples umidade do ar também podem carregar cargas elétricas – explicando a formação de relâmpagos, por exemplo. Também inspiram a construção de novos equipamentos. Em 2007, descobertas do físico norte-americano Lawrence Schein, ex-pesquisador da Xerox e da IBM, sobre partículas com cargas elétricas motivaram a criação de uma empresa em Taiwan para desenvolver uma tecnologia de impressão colorida a laser – as impressoras coloridas hoje são até três vezes mais caras que as preto-e-branco.

Além das impressoras a laser, a eletricidade estática – ou eletrostática – está por trás do funcionamento de máquinas copiadoras e um tipo de pintura que protege geladeiras e fogões contra os efeitos de variações constantes de temperatura. As descargas eletrostáticas podem destruir *chips* de computadores, atrapalhar transmissões de televisão ou causar incêndios e explosões de fábricas, balões dirigíveis ou foguetes como o veículo lançador de satélite brasileiro em 2003. Ou causar sustos como o choque que podemos tomar ao encostar em uma maçaneta em um dia seco. Ao induzir a passagem da eletricidade de um raio por um fio de um papagaio de papel, Benjamin Franklin não só entrou para a história como inventor (mais tarde entraria também como presidente da Pensilvânia e um dos *founding fathers* dos Estados Unidos), mas também apresentou ao mundo uma forma de energia que agora se amplia muito mais.

Dois séculos depois, por caminhos paralelos, alguns cientistas como Galembeck e o químico George Whitesides, que coordena um grupo de pesquisa na Universidade Harvard, Estados Unidos, estão chegando à mesma conclusão: não existe nada eletricamente neutro. Em 2007 Whitesides era um dos autores de um artigo publicado na *Journal of American Chemical Society* que convidava a rever o princípio da eletroneutralidade, ensinado nos colégios e faculdades aos estudantes de química, física e engenharias. Em 2008, em outro estudo, Whitesides assinava também a seguinte declaração: “Qualquer material que tem íons

Modelo sobre cargas elétricas desenvolvido na Unicamp indica que não há materiais neutros

[partículas com cargas elétricas predominantemente positivas ou negativas] na superfície ou no interior pode se tornar um eletreto iônico” [eletretos são materiais com um campo elétrico permanente na superfície, que funcionam para a eletrostática como os ímãs para o eletromagnetismo]. “Quando esse material entra em contato com outro, os íons podem sair de um para outro.”

Novas ideias - “Somos elétricos, tudo é elétrico”, sintetiza Galembeck. No laboratório, para demonstrar como as cargas elétricas circulam de modo imperceptível, ele encosta o dedo em uma placa de silicone com uma carga elétrica que gera um potencial, medido por um voltímetro, de 267 volts. “Não morri eletrocutado porque as cargas estão paradas”, comemora. “Mas teria sido eletrocutado se encostasse nesse eletrodo aqui, que mede a eletricidade da placa gerando um potencial elétrico da mesma intensidade.” As cargas elétricas estão paradas, explicando por que não levamos choques a todo momento ao tocar coisas antes vistas como neutras, mas nem sempre tão paradas: podem mergulhar para o interior dos materiais ou atrair cargas opostas, como ele e sua equipe demonstraram examinando quase 50 materiais diferentes sob um microscópio de força atômica modificado, que identifica a variação da carga elétrica ao longo da superfície.

Aos poucos os resultados levaram a novas ideias e a hipóteses para fenômenos pouco explicados. Quem sofreu infarto, por exemplo, não pode usar nada no coração ou nas artérias feito

de polietileno ou com polipropileno: esses materiais podem causar coágulos e bloquear a passagem do sangue. “Talvez esses polímeros, normalmente negativos, atraiam partículas de carga positiva que circulam no sangue”, propõe Galembeck. “Se for essa a causa e se conseguirmos controlar a carga elétrica, talvez possam surgir materiais novos e melhores, para muitas finalidades.”

Doze anos de análises de compostos orgânicos como polímeros (látex) e celulose ou inorgânicos como os minerais indicaram que a distribuição espacial de cargas fixas sempre é muito irregular. “As cargas elétricas salpicam a superfície dos materiais, formando manchas como as de uma onça-pintada”, compara Galembeck. “Antes pensávamos que todos os materiais fossem uniformes como a pele da onça-parda.” Sob o microscópio, a superfície desses materiais parece as paisagens amare-ladas da superfície de Marte enviadas pela sonda Phoenix em 2008, com regiões mais claras, que correspondem às cargas positivas, entremeadas de outras mais escuras, de cargas negativas. O óxido de titânio depositado sobre mica é uma exceção entre formas tão irregulares: é quase todo escuro, com raras manchas claras.

Um plástico chamado poliestireno metacrilato de hidroxietila (PS-Hema) é outra exceção, dessa vez por causa de uma estrutura das partículas em forma de colmeia. Examinando esse material, André Herzog, André Galembeck, Carlos Costa e Camila Rezende, químicos da equipe de Galembeck, viram colmeias dentro dessas colmeias com va-

riações de carga elétrica até mesmo em uma área de 1 micrôn por 1 micrôn (1 milésimo de milímetro). “O fato de uma área ser negativa não significa que toda a amostra seja negativa”, diz Camila. O microscópio revela detalhes dos chamados mapas elétricos, enquanto um macroscópio, instalado em uma caixa de alumínio com um sensor em forma de uma caneta – tudo criação dos próprios pesquisadores – fornece a identidade elétrica dos materiais. Em potencial de equilíbrio, depois que as cargas elétricas se acomodam, o polipropileno exibe 7 volts negativos, o poliestireno 5 volts negativos.

Excessos - Os estudos feitos até agora na Unicamp indicam que no látex sintético as cargas negativas resultam do excesso de íons cloreto (Cl^-) ou sulfato ($-\text{SO}_4^-$, nesse caso com apenas uma carga negativa, em vez de duas, porque está ligado a uma molécula à qual se ligam outras formando a longa cadeia que caracteriza um látex) e fosfato (PO_4^- , com uma só carga negativa pela mesma razão que o sulfato), enquanto as positivas expressam o excesso de íons potássio (K^+) ou sódio (Na^+). Segundo Galembeck, os íons positivos são restos das substâncias iniciadoras da formação do látex, que permaneceram sozinhos, sem se fixarem nas partículas de látex. Já a borracha natural, de acordo com a tese de doutorado da química Márcia Maria Rippel, concluída em 2005, pode apresentar regiões com um excesso de cargas positivas, resultante da abundância local de cálcio, sódio e potássio (Ca^{2+} , Na^+ e K^+), ou negativas, com proteínas e fos-

folipídeos (que são substâncias semelhantes à lecitina do leite e da soja).

A suposta neutralidade elétrica do ar e da água também se foi. De acordo com um estudo de revisão escrito por Camila, Rúbia Gouveia, Marcelo Silva e Galembek, íons positivos e negativos podem se formar no ar, como resultado da emissão radioativa vinda de minerais como o radônio, do Sol ou do espaço e também do campo elétrico que existe entre a superfície da Terra (negativa) e a ionosfera (positiva). Seguindo este raciocínio, a água deixa de ser um aglomerado de moléculas neutras de H₂O e se torna uma mistura de H₂O e de íons positivos hidrônio (H₃O⁺) e negativos hidroxila (OH⁻). O líquido mais abundante do planeta ganha assim um papel de armazenador de eletricidade.

Uma consequência é que a água se torna, também, coesiva. “Com um

pouco de íons, a água pode grudar qualquer coisa em qualquer coisa”, diz Galembek.

Leonardo Valadares, químico de sua equipe, coordenou um experimento que evidenciou algumas dessas possibilidades. Materiais que normalmente não se misturam – sílica, um polímero, um mineral rico em cálcio e dióxido de titânio – apresentaram-se misturados depois de serem dispersos em água, secos e examinados sob um microscópio eletrônico, de acordo com um estudo publicado em 2008 na *Journal of Physical Chemistry*. O grupo da Unicamp analisa as possibilidades de interação dos íons positivos e negativos da água com outros materiais, enquanto o de Whitesides concentra-se no OH⁻. Ambos exploram as possibilidades de construção de dispositivos a partir desses conceitos: Whitesides mostrou como fazer novos

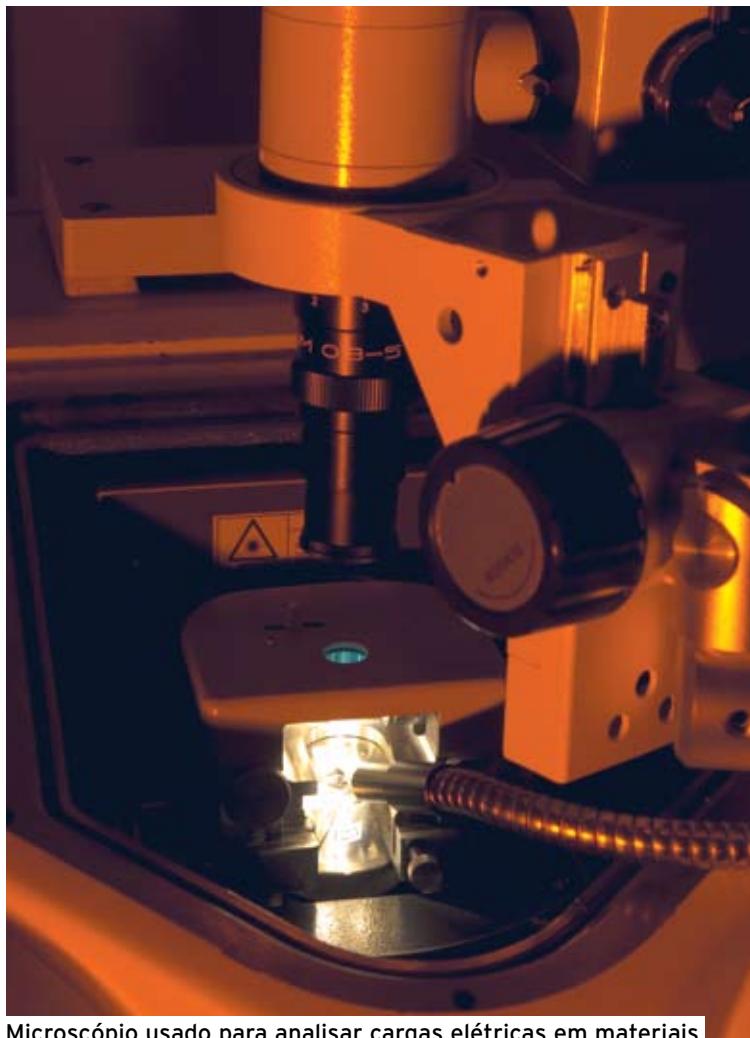
eletretos (captadores de cargas elétricas) com poliestireno na *Journal of American Chemistry Society* em fevereiro de 2007; agora, em fevereiro deste ano, as equipes da Unicamp e da universidade inglesa de Sheffield descrevem na *Langmuir* partículas formadas por sílica e poliestireno fortemente coesos, formadas na presença de água.

Água elétrica - A água revelou outra propriedade: além de portadora de cargas elétricas de outros materiais, pode ser uma fonte de cargas elétricas. Na Universidade de Washington em Seattle, Estados Unidos, Gerald Pollock e Kate Ovchinnikova examinaram a capacidade de a água ser momentaneamente elétrica em um artigo publicado em novembro de 2008 na *Langmuir*, uma das principais revistas científicas internacionais em físico-química, com um título interrogativo: “*Can water store charge?*” (pode a água armazenar cargas elétricas?). Eles viram que a corrente elétrica na água persistia por dez minutos após os polos negativos e positivos da corrente elétrica – os eletrodos – serem desligados. Os pesquisadores concluíram que a água “parece ter” a capacidade de armazenar e distribuir carga elétrica. A cautela dos autores é que parece excessiva, já que eles dizem ter recolhido com um equipamento a maioria da carga elétrica separada na água.

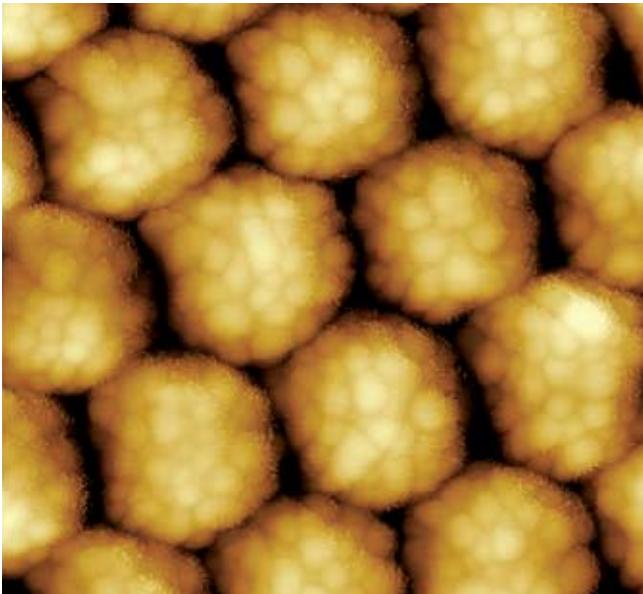
Tomar a água como fonte de eletricidade ajuda a entender fenômenos atmosféricos como a formação de relâmpagos, que são disparados por cargas elétricas liberadas pelas próprias nuvens. “Se a gente conseguisse controlar essa eletricidade estática a ponto de evitar o relâmpago...”, imagina Galembek. “Tudo o que conseguimos hoje é tentar atrair os raios para os para-raios.” Nas próprias nuvens há um acúmulo e uma separação de cargas elétricas, mais fácil de entender vendo o líquido mais abundante no planeta como uma sopa rala de íons – os positivos normalmente em altitudes mais elevadas que os negativos.

“Existe um campo elétrico na atmosfera”, diz ele, em busca de explicações para a separação de cargas elétricas nas nuvens. “A ionosfera [uma das camadas mais altas da atmosfera] é predominantemente positiva e a Terra, negativa.” Um dos experimentos de

EDUARDO CESAR

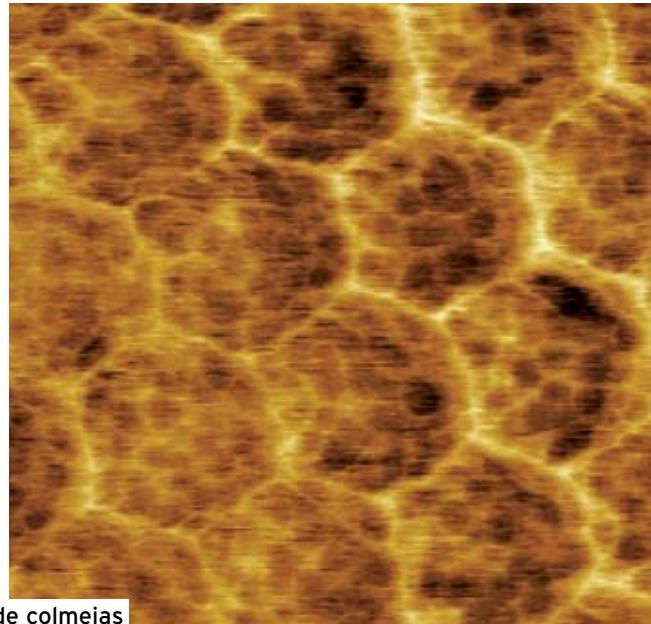


Microscópio usado para analisar cargas elétricas em materiais



Estrutura de um tipo de poliestireno exibe colmeias dentro de colmeias

UNICAMP



seu grupo demonstrou que a água da atmosfera tem um papel importante na eletrização dos materiais, por transferir íons: o simples fato de uma folha de papel sair de uma umidade mais alta para uma de umidade mais baixa é o bastante para mudar o estado de eletrização. “Os corpos podem interagir com o espaço que os cercam, ganhando ou cedendo cargas elétricas”, observa Galembeck.

Emergem explicações também para o fato de pós normalmente inócuos como açúcar e farinha de trigo explodirem por causa de eletrização descontrolada – um dos maiores acidentes industriais nos Estados Unidos, em 2003, em uma fábrica de material cirúrgico, com 16 mortes, foi causado por pó de polietileno que acumulou nos dutos de ar-condicionado, eletrizou e explodiu. “Pós podem explodir mais facilmente do que outros materiais porque têm maior área para interagir com os íons da água da atmosfera.” Não é o bastante, porém, porque as lacunas de conhecimento ainda são vastas. “Este plástico”, diz Galembeck indicando a placa de fórmica que reveste o armário ao lado do qual está agora sentado, “absorve mais OH⁻ ou H⁺ da umidade do ar? E o que vai acontecer, interagindo com um íon ou outro? Estou partindo do pressuposto de que não absorve na mesma proporção. Absorve água também, mas deve fazer uma partição, uma separação dos íons”.

Mesmo perguntas básicas continuam sem respostas satisfatórias: por que aparecem as cargas? Por que um corpo se eletriza? O que faz uma carga normalmente parada ter efeito? “Portadores de cargas não são só os elétrons”, suspeita Camila. Para Galembeck, a eletrostática gerou empresas e o milionário negócio das copiadoras e impressoras, mas o seu progresso tem dependido de novos conceitos e ideias. “Precisamos sair da situação atual, que é a pior possível: alguém não saber e achar que sabe.” Em um artigo de 2007 na *Science*, com a autoridade de quem trabalhou em empresas inovadoras, Schein ampliou para além dos círculos acadêmicos o desejo de outras respostas: “Precisamos entender como as cargas surgem e como as forças electromagnéticas se comportam.”

Nuvens - Depois de anos em silêncio em busca de explicações para os resultados fora da lei que colecionava, Galembeck pode agora celebrar uma estratégia de trabalho que deu certo: acompanhar temas científicos do momento, mas também apostar em caminhos pouco trilhados. “Não tive estímulo, nem verba específica para os estudos sobre eletrostática, mas tive autonomia”, ele conta. “Aproveitei informação e sobras de equipamentos de outros projetos.” Com resultados experimentais, artigos e ideias novas à

mão, agora ele se sente à vontade para explicar situações que o intrigavam há muito tempo. “Por que a forma das nuvens de água e as das queimadas é tão diferente? Talvez por causa da separação dos íons.”

Ele não hesita em sair das nuvens para um experimento que o professor de física Walter Lewin costuma exhibir aos estudantes do Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT) (a experiência pode ser vista pelo YouTube). De duas torneiras caem gotas de água que passam por um cilindro metálico e caem em latas separadas. De cada lata sai um fio rígido que termina com uma esfera. As esferas das pontas dos fios quase se tocam. Depois de alguns segundos que a água começa a gotejar, as esferas disparam uma faísca elétrica. Como explicar? Segundo a aula do professor Lewin, que está na internet, a água que se acumula lá embaixo é uma água eletrizada, capaz de provocar uma descarga elétrica no ar. Esse fenômeno, tão simples e conhecido desde os tempos de Kelvin, poderia ser uma fonte de energia elétrica, mas não é, porque não é bem compreendido. Como surge essa eletricidade? Galembeck propõe uma nova explicação: “A água, ao gotejar, evapora parcialmente, retendo mais íons positivos ou negativos”. Alguém mais arrisca uma explicação? ■

CARLOS FIORAVANTI