

# TINTA CONDUTORA

substitui o cobre em circuitos eletrônicos para uso temporário

# CONDUCTIVE INK

replaces copper in electronic circuits for temporary use

Por/By: Guilherme Profeta  
Fotos/Photos: Fernando Rezende

Hoje, Denicezar Angelo Baldo é coordenador do curso de Engenharia da Computação da Universidade de Sorocaba (Uniso), além de lecionar disciplinas relacionadas à tecnologia em vários cursos de graduação, mas, nos “velhos tempos”, um de seus primeiros contatos com a eletrônica foi num curso técnico que ele cursou em 2005, aos 17 anos, antes mesmo de se tornar um estudante universitário. “Daquele tempo eu me lembro de um exercício em que tínhamos de criar um robô simples, isso antes mesmo de existirem as atuais placas eletrônicas *open source* (placas genéricas, de baixo custo, que podem ser facilmente customizadas)”, ele relembra. “As placas que utilizávamos, feitas de plástico, eram revestidas de cobre e, para formar as **TRILHAS**, sobre as quais nós fixávamos os outros componentes, nós desgastávamos o cobre. Como o design dessas trilhas nem sempre ficava perfeito, nós utilizávamos uma solução de perclorato de ferro para corroer o excesso de cobre presente nas placas, de modo a formar as trilhas perfeitamente. A solução residual era então descartada, muitas vezes sem o mesmo nível de cuidado com o meio ambiente que existe hoje em dia.”

Na sequência, já cursando a graduação em Engenharia Elétrica, ele percebeu que o processo de criar uma nova placa levava bastante tempo, uma vez que vários protótipos precisavam ser descartados até se chegar a uma configuração ideal. Foi quando ele teve a ideia de usar uma tinta condutora — por meio da qual, em vez de corroer o cobre das placas (e consequentemente gerar resíduos indesejáveis), as pessoas poderiam simplesmente desenhar sobre elas —, e, para sua surpresa, ao pesquisar a respeito, descobriu que a técnica já existia. Ele conta que o método, chamado impressão funcional, era pouco difundido no mercado.

“Isso porque, mesmo hoje, ainda é difícil produzir uma tinta que seja condutora (ou seja, que permita a passagem da eletricidade) e que custe pouco. Aquelas disponíveis no mercado ou eram feitas de prata, com boa eficiência porém alto custo, ou de materiais carbônicos, baratos

Nowadays, professor Denicezar Angelo Baldo is the coordinator of Uniso’s undergraduate program in Computer Engineering, besides teaching many classes related to technology, but, back in the day, one of his earliest encounters with electronics was in a class that he took as part of a vocational course, in 2005, at the age of 17. This was before he became a college student. “I remember an exercise from that time,” he recalls. “We had to create a simple robot, and back then we didn’t have these open-source circuit boards that are available today (namely, generic low-cost circuit boards that can be easily customized). The circuits we had were made of plastic coated with copper, and, in order to create the **RAILS** onto which we attached the other components, we had to wear the copper away. Since the design of these rails didn’t turn out perfect every time, we used a ferric chloride solution to corrode the excess copper on the boards, thus creating better rails. The residual solution was then discarded, often without the same level of environmental care that exists today.”

After that, while he was already pursuing his undergraduate degree in Electrical Engineering, he realized that the process of creating a new circuit board took a considerable amount of time, as several prototypes needed to be discarded before arriving at an ideal configuration. It was then that he had the idea of using conductive ink to draw rails on the circuit boards, instead of corroding the copper (and consequently generating undesirable waste). To his surprise, upon researching, he discovered that the technique already existed. The method, called functional printing, was not widely disseminated in the market though.

“That is because, even today, it is still difficult to produce a conductive ink (that is, one that allows the passage of electricity) at a low cost. Those that were available in the market were either made of silver, which means they were effective but quite expensive, or made of carbon-based materials, which made them cheap, but also quite inefficient.

## PARA SABER MAIS: AS TRILHAS DAS PLACAS ELETRÔNICAS

Quando você tem em mãos um chip eletrônico, é possível acompanhar pequenas linhas de material brilhante que ligam um ponto a outros pontos através da placa de silício. O pesquisador explica que essas linhas, chamadas trilhas, funcionam como autoestradas pelas quais os elétrons trafegam. “Essas estradas são muito importantes”, ele diz, “porque, sem elas, é impossível que os elétrons passem. Mas nem todas têm as mesmas especificações: tal qual uma estrada pode ser feita de asfalto ou de terra, por exemplo, as trilhas de um circuito eletrônico podem apresentar maior ou menor qualidade. Além disso, tal qual uma autoestrada pode ter pedágios e outros tipos de paradas, as trilhas de um circuito também contêm determinados componentes que fazem com que os elétrons se comportem de modo diferente ao passar por eles.”

## TO KNOW BETTER: THE RAILS ON A CIRCUIT BOARD

When you hold an electronic chip in your hands, it is possible to observe small lines of shiny material that connect different points across the silicon board. The researcher explains that these lines, or rails, function as highways through which electrons can travel. “These roads are very important,” he says, “because without them, it is impossible for electrons to pass. But not all rails have the same specifications: just as a road can be made of asphalt or dirt, for example, the rails on a circuit board can also exhibit varying levels of quality. Besides that, just as a highway can have tolls and other types of stops, the rails on a circuit board also contain certain components that cause electrons to behave differently when passing through them.”

mas pouco eficientes. Foi daí que veio a ideia de desenvolver um meio-termo, usando um polímero condutor de baixo custo, fácil de ser sintetizado, mas acrescido de nanopartículas metálicas para aumentar a sua condutividade”, ele explica.

Lendo mais a respeito, ele encontrou a polianilina, um dos polímeros condutores mais comuns. “Já existiam pesquisas envolvendo a polianilina acrescida de nanopartículas metálicas, principalmente de prata ou ouro, porém os materiais não eram bons condutores”, ele lembra. “Eu observei que a combinação com a prata melhorava a condutividade da polianilina, contudo ela perdia eficiência com o tempo, devido ao fato de a prata oxidar quando sofre passagem de corrente. Por outro lado, quando a polianilina era acrescida de nanopartículas de ouro, ela se tornava mais estável

Hence the idea of developing something in the middle, by using a low-cost conductive polymer, one that should be easy to synthesize, and to which one could add metallic nanoparticles in order to increase its conductivity,” he explains.

Reading further on the matter, he came across polyaniline, one of the most common conductive polymers. “There were already studies involving polyaniline containing added metallic nanoparticles, mainly silver or gold, but the materials were not good conductors,” he recalls. “I noticed that the combination with silver improved the conductivity of polyaniline, however, it would lose efficiency over time, due to the fact that silver oxidates when an electric current passes through it. On the other hand, when gold nanoparticles were added to polyaniline, they made it more

no que diz respeito à passagem de corrente, mas sua condutividade não era tão elevada.”

Qual foi, então, a solução em que ele pensou? Simplesmente misturar a prata ao ouro, por meio de nanopartículas bimetálicas, aproveitando assim tanto a condutividade da prata quanto a estabilidade do ouro. Parecia ser o melhor de dois mundos. A partir daí, e considerando-se que na Uniso já eram conduzidos estudos envolvendo nanopartículas bimetálicas, a sua pesquisa de mestrado foi um caminho natural: na época Baldo trabalhava na instituição como técnico de laboratório e foi incentivado por colegas e professores a propor um projeto para desenvolver a sua ideia como parte do Programa de Pós-Graduação em Processos Tecnológicos e Ambientais. Um desses professores era o professor doutor Marco Vinicius Chaud, que posteriormente se tornou coorientador do projeto de Baldo, na linha de pesquisa “Processamento e caracterização de materiais e produtos”.

Em junho de 2021, já professor na instituição, o pesquisador defendeu o seu mestrado, que teve como resultado aquela mesma tinta condutora que ele começou a idealizar quando ainda era estudante de graduação. Para chegar à configuração do produto final, ele testou algumas variações, de modo a comparar os resultados da polianilina acrescida de nanopartículas combinadas com ambos os metais àqueles obtidos somente com o acréscimo de um ou outro metal. A conclusão é que a variação com ambos os metais é a mais promissora, por demonstrar o maior nível de condutividade (ou seja, a menor resistência à passagem de corrente elétrica) e a maior densidade de corrente (a quantidade de elétrons circulando de uma vez pelo mesmo espaço, ou o volume de energia capaz de trafegar no condutor), continuando íntegra após a passagem da eletricidade.

“Desse modo, a polianilina bimetálica se mostrou uma boa alternativa como tinta condutora, agregando a estabilidade da nanopartícula de ouro com a condutividade da nanopartícula de prata. Já

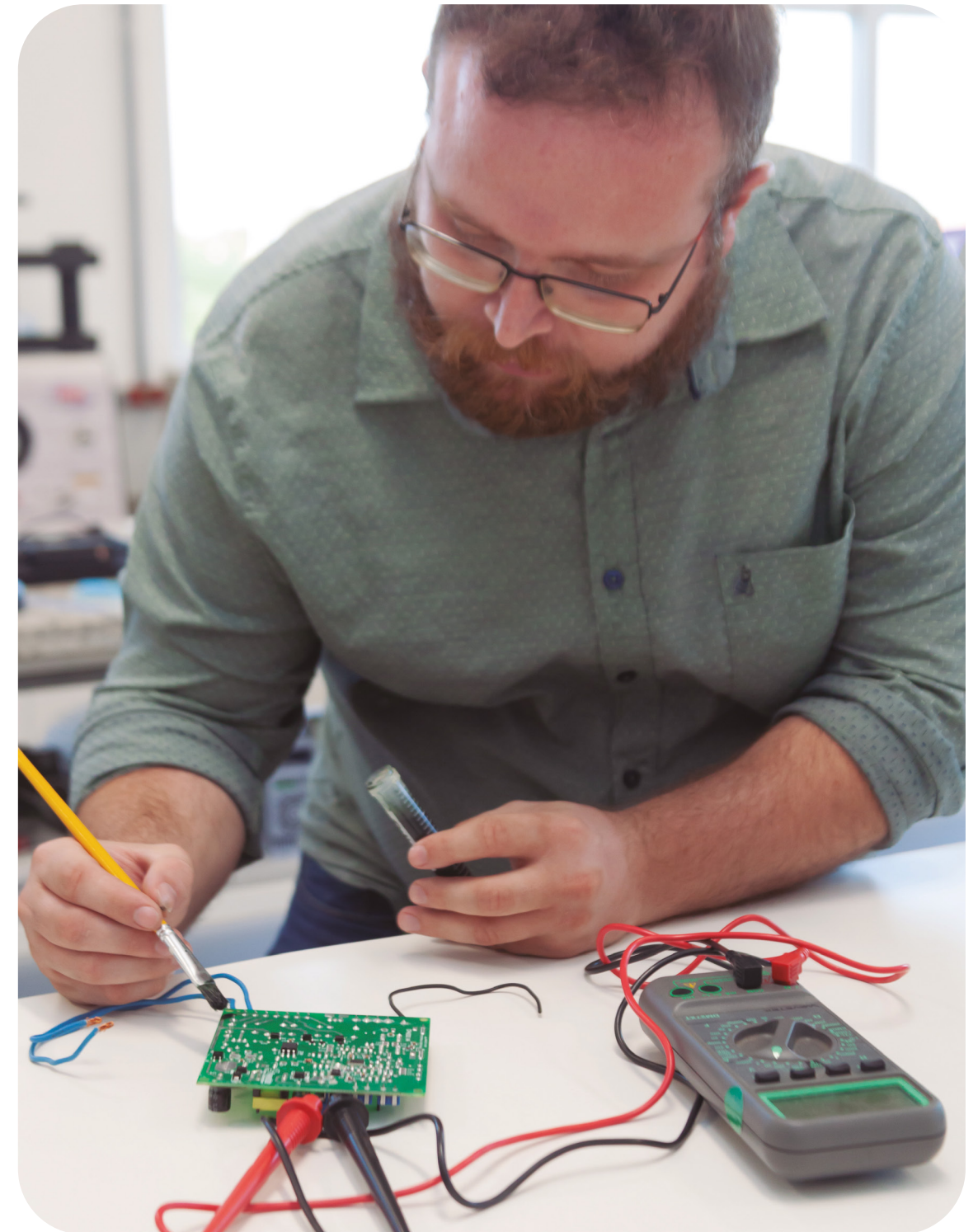
stable regarding the current flow aspect, but its conductivity was not as high.”

What was his solution, then? Simply mixing silver with gold, in the form of bimetallic nanoparticles, thus taking advantage of the conductivity of silver, as well as the stability of gold. It seemed to be the best of both worlds. From there, and considering that studies involving bimetallic nanoparticles were already being conducted at Uniso, his Master’s research became a natural path to follow: at the time, Baldo worked at Uniso as a laboratory technician, and was encouraged by colleagues and professors to propose a project to develop his idea as part of the university’s graduate program in Technological and Environmental Processes. Marco Vinicius Chaud was one of these professors, who later became a co-advisor of Baldo’s project, as part of the program’s line of research titled “Processing and characterization of materials and products.”

In June 2021, when he was already a professor at Uniso, Baldo defended his Master’s thesis, which resulted in the same conductive ink he had begun conceptualizing when he was still an undergraduate student. To achieve the configuration of the final product, he tested several variations, comparing the results of polyaniline combined with nanoparticles made of both metals, either the two together or isolated.

The conclusion is that the variation that incorporates both metals is the most promising, exhibiting the highest level of conductivity (in other words, the lowest resistance to the flow of electric current), and the greatest current density (the amount of electrons circulating simultaneously through the same space, or the volume of energy capable of traversing the conductor), while also remaining intact after the passage of electricity.

“Therefore, bimetallic polyaniline has proven to be a viable alternative as conductive ink, combining the stability of gold nanoparticles with



O professor mestre Denicezar A. Baldo, coordenador do curso de Engenharia da Computação da Uniso, usando a tinta condutora desenvolvida em sua pesquisa

Professor Denicezar A. Baldo, coordinator of Uniso’s undergraduate program in Computer Engineering, using the conductive ink developed during his research



A tinta condutora desenvolvida na Uniso custa aproximadamente 10% do preço praticado no mercado, ou até menos  
The conductive ink developed at Uniso costs approximately 10% of the current market price, or even less

em relação ao custo, e levando-se em consideração que hoje uma caneta de tinta condutora à base de carbono (com a mesma quantidade considerada pela pesquisa de Baldo) custa aproximadamente £7 no mercado, o resultado foi excelente: o custo da tinta desenvolvida na Uniso ficou em torno de 10% desse valor, ou até menos”, ele conclui. A única limitação — ao menos por enquanto — é a complexidade dos circuitos em que essa tinta pode ser utilizada, pois potências muito altas levam ao aquecimento das placas, o que causaria a evaporação da solução da qual a tinta é composta, mas essa também é uma característica das tintas condutoras existentes no mercado.

Assim, o uso da tinta está voltado à criação temporária de circuitos impressos, como acontece, por exemplo, na prototipagem industrial, em que o leiaute das placas precisa ser alterado várias e várias vezes (o que eleva o custo de prototipagem), até que se chegue a uma configuração final para produção em larga escala; no reparo de circuitos danificados, quando determinada trilha foi rompida, especialmente em situações em que a placa necessita da substituição, porém não se pode parar toda a linha de produção; na universidade, para fins acadêmicos, especialmente pela praticidade do uso da tinta em comparação ao cobre. Em todas essas aplicações, além de menos dispendioso e mais prático, o processo é, também, mais sustentável.

the conductivity of silver nanoparticles. Regarding cost, and taking into account that a carbon-based conductive ink pen (with the same amount of ink as considered in the research) costs approximately £7, the result was excellent: the cost of the ink developed at Uniso was around 10% of the market price, or even less,” he concludes. The only limitation—at least for now—is the complexity of the circuits in which this ink can be used, since a very high electrical power could lead to circuit heating, thus causing the evaporation of the ink’s solution. Nevertheless, this is also a characteristic of other conductive inks available in the market.

All in all, this novelty ink meets the need for printing circuits temporarily, with potential beneficial applications including industrial prototyping, where the layout of circuit boards needs to be altered multiple times (which increases prototyping costs) until a final configuration for large-scale production is finally achieved; the repairing of damaged circuits, when a certain rail has been damaged, especially in situations where a circuit board needs to be replaced, but a given production line that depends on it cannot be halted entirely; and academic scenarios, for teaching purposes, especially due to the convenience of using ink in comparison to copper. In all these applications, besides being less expensive and way more practical, the process is also more sustainable.

Com base na dissertação “Produção e caracterização de tinta condutora a base de polianilina e nanopartículas metálicas”, do Programa de Pós-Graduação em Processos Tecnológicos e Ambientais da Universidade de Sorocaba (Uniso), com orientação do professor doutor Norberto Aranha e coorientação do professor doutor Marco Vinicius Chaud, aprovada em 30 de junho de 2021.

**Acesse o texto completo da pesquisa (em português):**

**Follow the link to access the full text of the original research (in Portuguese):**

