

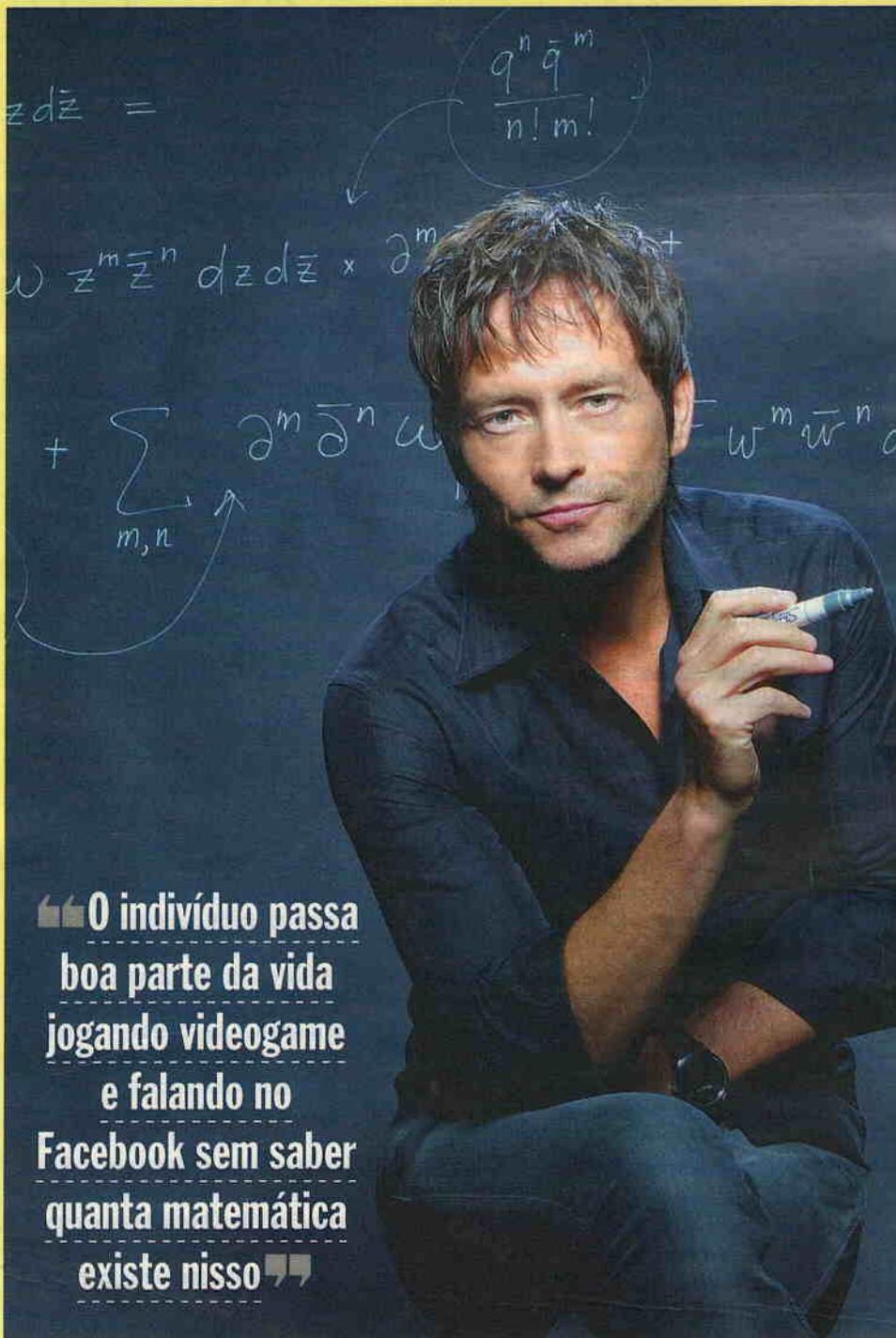
## Sob o comando dos algoritmos

Um dos maiores pensadores da matemática moderna afirma que a baixa qualidade do ensino afasta o grande público do conhecimento e abre precedente para inovações perigosas

O matemático russo Edward Frenkel, 46 anos, acredita que o domínio da matemática por um pequeno grupo de pessoas pode ser perigoso para a sociedade. Por isso busca atingir o grande público — que, em geral, não tem paixão pelos números. No livro *Amor e Matemática*, recém-lançado no Brasil, ele relata também sua difícil trajetória. Nascido na União Soviética e discriminado nos estudos por ser judeu, Frenkel pulava o muro da Universidade de Moscou para assistir às aulas. Aos 17 anos, ele solucionou uma questão matemática complexa que desafiava grandes estudiosos — emoção que compara à “do primeiro beijo”. Aos 21, foi convidado para estudar em Harvard, conquistando o doutorado em dois anos. Hoje, dá aulas na Universidade da Califórnia em Berkeley, onde concedeu esta entrevista.

**Por que tanta gente detesta matemática?** Existem vários fatores. A principal razão de grande parte das pessoas não gostar de matemática é porque não sabe do que se trata. Mas pensa que sabe, o que é pior ainda, pois foi apresentada na escola a uma fração minúscula do tema, de forma muito ruim, e ficou com um gosto amargo na memória. Uma das missões a que me proponho é diminuir o estrago causado pelo sistema de ensino. Seria muito mais fácil se meus leitores nunca tivessem ouvido falar do assunto e eu pudesse explicá-lo partindo do zero.

**O que o senhor faria, então?** Falaria de coisas totalmente diferentes daquelas que costumam ser explicadas nas escolas de hoje. Há, no ensino, paradoxos que considero inaceitáveis. Um exemplo: o mundo é governado por algoritmos. Eles estão na base de algumas das maiores inovações humanas. E, no entanto, o indivíduo pode atravessar boa parte da vida jogando videogame,



“O indivíduo passa boa parte da vida jogando videogame e falando no Facebook sem saber quanta matemática existe nisso”

fazendo compras on-line e falando com amigos no Facebook sem ter ideia de quanta matemática existe em tudo isso. Por que não aproveitar essas novas situações do cotidiano para chamar atenção para a matemática e explicar como ela funciona, em vez de recorrer a assuntos gastos, que ninguém entende? Garanto que haveria muito mais interesse.

**As pessoas talvez temam enfrentar raciocínios exageradamente abstratos, de difícil compreensão...** Mas o mundo está cada vez mais abstrato, em todos os aspectos. O exemplo mais evidente é o dinheiro. Antigamente, com o escambo, era fácil entender que um peixe poderia ser trocado por um pedaço de carne. Depois, inventou-se o padrão-ouro, que ainda era algo bastante concreto. Com a criação do dinheiro, um pedaço de papel adquiriu valor. Agora, usamos cartão de crédito, ou o bitcoin, que está em algum lugar na nuvem. Todas essas abstrações surgem da manipulação de códigos numéricos. Por isso, precisamos ensinar as crianças a navegar nessa nova realidade. Não é algo simples. O fato de elas entrarem em contato desde muito cedo com computadores, tablets e smartphones, e olharem para esses instrumentos de forma natural, facilita bastante. Se não disseminarmos o conhecimento sobre os mecanismos tecnológicos, correremos o risco de ele ficar cada vez mais concentrado nas mãos de poucas pessoas.

**Por que isso o preocupa tanto?** Porque cada vez mais esse conhecimento permite que números e códigos assumam o lugar do homem. Graças a algoritmos sofisticados, por exemplo, empresas como a Amazon e o Google monitoram a rede e recomendam produtos, potencializando seus negócios de forma inimaginável há até pouco tempo. Os compradores acham que estão decidindo por conta própria, quando na verdade são influenciados por programas que analisam seu histórico e cruzam dados para prever seu comportamento. A maioria das pessoas nem sequer percebe que está sendo influen-

“Empresas como Amazon e Google monitoram a rede e recomendam produtos. Os compradores acham que decidem por conta própria, mas são influenciados por programas que analisam seu comportamento”

ciada por uma máquina. Se tivessem um mínimo de conhecimento sobre o assunto, elas teriam pelo menos a chance de refletir criticamente antes de fazer suas escolhas.

**O senhor é contra as aplicações feitas com base na matemática?** Claro que não todas, mas é preciso cuidado ao manipular números que interferem no comportamento humano. Se há algo que algoritmos e máquinas não substituem são as emoções e a capacidade de julgamento — em outras palavras, a intuição. Por isso eu me preocupo, sim, com os caminhos que estão sendo tomados por gente que, embora entenda até demais do assunto, não tem os mesmos filtros que a maioria.

**A quem o senhor se refere?** Algumas das mentes mais brilhantes da atualidade, especialmente aqui, no Vale do Silício, estão tentando criar máquinas capazes de fazer uploads de nossa mente. Há gente muito poderosa envolvida — como Ray Kurzweil, chefe de engenharia do Google. O problema é que determinados cientistas, como Kurzweil, encaram humanos como máquinas e acham que um pode substituir o outro. Quando se pensa assim e se tem muito

poder, há um tremendo risco de criar robôs e máquinas sem controle.

**O senhor não está sendo alarmista demais?** Infelizmente, não. Quem pensa que uma batalha entre robôs e seres humanos é coisa de ficção científica está enganado. Não é preciso ir longe para encontrar os alertas. As pessoas passaram a delegar aos computadores funções cruciais do cotidiano. Já existem diversos relatos de aviões não tripulados desenvolvidos para o disparo de mísseis. Há apenas alguns anos, em 2008, o uso indiscriminado de modelos matemáticos inadequados para controlar aplicações financeiras esteve na origem da maior crise que o mundo já viu, graças ao desequilíbrio no acesso às informações capturadas por modelos matemáticos. Estão aí dois exemplos poderosos de máquinas que substituem o julgamento humano — nem sempre com os melhores resultados.

**O ensino da matemática nos Estados Unidos é melhor que em outros países?** Não necessariamente. O currículo é o mesmo, independentemente do lugar. Tomemos a geometria: os alunos até hoje a aprendem como se a Terra fosse plana, com base em ideias desenvolvidas por Euclides de Alexandria 300 anos antes de Cristo! Uma aula interessante, eficaz e atual de geometria abordaria fenômenos e descobertas pós-euclidianos, como a teoria do caos, a formação de nuvens e os movimentos de placas tectônicas que levam à formação de tsunamis. Mas, para que isso funcione, os professores também têm de mudar a forma como ensinam, que é a mesma desde sempre.

**Como os professores reagem às suas críticas?** Eles as detestam, é claro. Mas isso não me abala, porque considero que privar alguém de conhecimento é escandaloso. Equivale a um roubo. Os professores repassam dogmas em vez de conectar a matemática com o mundo real e mostrar suas aplicações. É uma prática tão estabelecida que eu mesmo só fui percebê-la há cerca de um ano, quando decidi escrever o livro.

Os alunos até hoje aprendem geometria como se a Terra fosse plana, com base em ideias desenvolvidas por Euclides de Alexandria 300 anos antes de Cristo. Uma aula eficaz abordaria descobertas mais recentes, como a teoria do caos

Estudo a disciplina desde os 15 anos e nunca tinha refletido sobre isso. Quando decidi me desligar de problemas e teoremas para refletir sobre como a ciência é ensinada de fato, fiquei chocado. Cheguei à conclusão de que alguns colegas preferem deixar as coisas como estão, pois alimenta o ego deles saber de assuntos que ninguém mais entende.

**Por que é tão difícil modificar esse comportamento?** O impulso de fazer as coisas de forma automática é muito poderoso. Além disso, existe o sentimento generalizado de que estudar tem de ser divertido, principalmente nos Estados Unidos. Na Rússia, onde cresci, isso não faz sequer sentido. Claro que dá prazer encontrar a solução para um desafio ou aprender algo novo, mas os estudantes russos sabem que devem trabalhar duro e entendem que sempre foi assim. Quero que meus alunos de Berkeley se sintam bem nas minhas aulas, vejam os resultados e fiquem felizes de poder aprender, mas isso não significa que vai ser fácil. É justamente o contrário. É a conquista que traz satisfação.

**As competições entre alunos do mundo todo não estimulam o interesse pela ciência?** Não existe uma relação entre ganhar uma competição e saber matemática de fato. Pode-se treinar à exaustão e conseguir resolver os problemas de forma rápida, que é a principal habilidade exigida nessas disputas, sem necessariamente ter talento e raciocínio para fazer a ciência evoluir. Isso, obviamente, não quer dizer que olimpíadas de matemática não sejam importantes para a disciplina e o treino desses alunos. Mas descobrir e solucionar grandes problemas que ninguém nunca resolveu — a missão mais nobre da matemática — exige outro tipo de habilidade. A grande maioria dos pequenos campeões olímpicos provavelmente vai se dedicar a outra coisa na vida.

**Nesse cenário inóspito, o que exatamente o atraiu para a matemática?** O poeta inglês William Blake disse certa vez que, “se as portas da percepção

fossem limpas, tudo apareceria ao homem tal como realmente é: infinito”. Para mim, é uma forma de limpar as portas da percepção. Sempre gostei de ciências, mas, quando adolescente, tudo o que tinha a ver com matemática me parecia sem nenhum propósito. Era a física, especialmente a física quântica, que me interessava, pois eu achava que seriam os físicos aqueles que encontrariam as respostas às grandes questões sobre a origem do universo. Foi só aos 15 anos, no penúltimo ano do colegial, que conheci um matemático, amigo dos meus pais, que, para me atrair à área, me apresentou um enigma ligado à física e um livro de formas. Naquele momento, percebi que as fórmulas e os teoremas forneciam as respostas às perguntas que eu trazia comigo havia muito tempo. Foi como uma epifania, uma sensação indescritível. Aí decidi mergulhar nesse mundo.

**Por que o senhor diz que a matemática transcende o tempo e o espaço?** Porque ela é uma linguagem universal. Veja, por exemplo, o teorema de Pitágoras, criado há mais de 2 000 anos. Ele nunca teve nenhuma atualização e nunca terá. Será sempre igual e poderá

ser entendido em qualquer lugar do mundo, em qualquer época. Isso é impressionante. Em um mundo com tantos conflitos, falamos sempre das coisas que nos separam e raramente encontramos fatos que nos unam. O que apenas os humanos têm em comum? Somos os únicos que fazem cálculos matemáticos. Aliás, as fórmulas não podem ser patenteadas porque são verdades universais, pertencem à humanidade. Não à toa, a matemática está por trás de grandes feitos humanos também em diferentes áreas.

**Quais, por exemplo?** Observe o sistema de notas musicais, suas batidas ou frequência. São os números que estão lá dando sustentação a tudo. Ou então as artes plásticas. O que são os quadros de Escher (*artista gráfico holandês*), com suas figuras simétricas e ilusionistas, senão prodígios possibilitados pela matemática? É claro que, com isso, não quero dizer que não há nada além de números no mundo — pelo contrário. Quando ouço uma música muito especial, que me faz chorar, não consigo explicá-la com uma fórmula. É muito mais do que razão. É algo que me conecta com um sentimento profundo, sem tradução concreta. Um computador pode fazer desenhos simétricos e programar músicas, mas não vai me fazer chorar.

**Qual é sua ambição, agora?** Quando você é jovem e ingressa na profissão, só pensa em acumular prêmios. Aos 21 anos, quando fui convidado para o doutorado em Harvard, eu também sonhava com uma carreira brilhante, com muitos diplomas e medalhas pendurados em meu escritório. Aos poucos, porém, percebi que, quando você tem segurança sobre si próprio e sobre a importância de sua contribuição, deixa de se preocupar com esse tipo de coisa. É o que ocorre comigo. Tenho clareza de minha missão: ajudar as pessoas a se conectar com a matemática e a desmistificar a noção de que ela seja algo intransponível e incompreensível. Se conseguir avançar nesse caminho, terei alcançado o prêmio máximo. ■

# Under the command of algorithms

One of the greatest thinkers of modern mathematics believes that bad math education keeps knowledge away from people and makes them vulnerable to dangerous innovations.

Edward Frenkel's interview in Brazilian weekly VEJA by Renata Betti (translated by Karina Rebuli)

The Russian mathematician Edward Frenkel, 46, believes that domination of mathematics by a small élite can be dangerous to our society. That's why he is trying to reach out to the general public — which, unfortunately, today has no passion for numbers. In his book, newly released in Brazil, *Amor e Matematico*, he also recounts his difficult path to becoming a mathematician. Born in the Soviet Union, he suffered prejudice as a student of Jewish descent, and used to scale the walls of the University to attend lectures. At the age of 17, he solved a complex mathematical problem that was a challenge for great scholars — this gave him a feeling that he compares to the first kiss. At 21, he was invited to study in Harvard, getting his Ph.D. there in one year. Today, he teaches at the University of California at Berkeley, from where he gave us this interview.

## Why so many people hate mathematics?

There are many factors. The main reason why most people don't like mathematic is that they don't know what it is. But they think they know, which is even worse, because they were exposed to such a tiny fraction of the subject, in a bad way, and that only gave them a bad taste, which is what they remember. I see it as one of my missions to reduce the damage caused by our education system. It's almost like my job would be easier if my readers had never heard of the subject and I could start from zero.

## So what can you do then?

I talk about things that are completely different from those explained at schools nowadays. There are paradoxes in education that I consider unacceptable. One example: the world around us is governed by algorithms. They are the basis of major human inventions. And yet, a person might go through life playing video games, shopping online and talking with friends on Facebook never even realizing how much math there is in all of this. Why don't we take advantage of these everyday situations to attract attention of students to mathematics and to explain how it works, and instead we keep falling back on the tired subjects that nobody can understand? I guarantee you that if we do so, there will be much more interest in the subject.

## Maybe people are afraid of to much abstract reasoning, which they find hard to understand...

But our world is becoming more and more abstract, in every sense. The most obvious example is money. We used to have barter, a fish could be exchanged for a piece of meat, for example. After that the gold standard was invented, which was still something concrete. With the creation of money, a mere piece of paper got value. And nowadays we use credit cards or bitcoin, which is somewhere in the cloud. All these higher and higher abstractions arise from manipulation with numbers and coding. That's why we need to teach our children math so that they know how to navigate their way in this new reality. This isn't simple stuff. But the fact that kids these days have

early contact with computers, tablets and smartphones naturally creates favorable circumstances for learning. On the other hand, if we don't disseminate knowledge about math and technology, we run the risk of concentrating it more and more in the hands of very few people.

### **Why does this worry you so much?**

Because this knowledge increasingly allows numbers and algorithms to supplant humans. Due to sophisticated algorithms, companies like Amazon and Google track the users and recommend products to them, thus bringing enormous profits to their businesses. Customers think they are deciding by themselves, when in fact they are being led on by software that analyses their history and correlates data to predict their future behavior. Most people don't even realize they are being manipulated by a machine. If they had at least rudimentary knowledge of the subject, they could at least be aware of how they are making their choices.

### **Are you against applications based on mathematics?**

Of course not, but it is necessary to be careful when manipulating things in a way that affects human behavior. Machines can't substitute our emotions and judgment ability — in other words, intuition. That is why I worry, yes, about the approaches of certain people who, even if they know a lot, don't seem to have the same self-guards as most people.

### **Who are you referring to?**

Some of the most brilliant minds today, especially here in the Silicon Valley, are trying to create machines onto which they want to upload their brains. There are powerful people involved — such as Ray Kurzweil, chief of engineering at Google. The problem is that these people actually believe that humans are nothing but machines and think we can be replaced by machines. When one thinks so and has a lot of power, we are running a tremendous risk of creating robots and machines that are out of control...

### **Aren't you being too alarmist?**

Unfortunately, I'm not. Those who think that robots doing harm to humans is in the domain of science fiction should think again. People have already begun to delegate crucial functions to computers. There have been multiple reports lately that there are fully automated guiding systems being deployed for missile launches by drones. And a few years ago, in 2008, the indiscriminate use of inadequate mathematical models to perform transactions in the financial markets contributed to a major crisis, thanks in part to the imbalance in the access to information processed by mathematical models. These are two powerful examples of machines and algorithms replacing human judgment — with troubling results.

### **Is mathematics education in the United States better than in other countries?**

Not necessarily. The curriculum is the same, independently of the place. Let's look at geometry: today students basically learn that "Earth is flat," based on the ideas developed Euclid 300 years BC. Non-Euclidean geometry of the Earth surface is never described. A modern, interesting and effective lecture on geometry would address issues like chaos theory, cloud formation and tectonic movements that lead to tsunamis. But for this to work, teachers need to change how they teach.

### **How do teachers react to your criticism?**

Many of them hate it, of course. But that doesn't bother me, because I consider this sort of privatization of crucial knowledge scandalous. We are robbing people. Teachers keep on passing on dogmas instead of connecting mathematics with the real world and showing its applications.

This practice is so deeply entrenched that even I only realized this recently, when I was writing my book. I have been studying and doing research in math since I was 15 years old and I had never thought about it. Then I decided to think about how science is taught, and I was shocked. I realize that some of my colleagues prefer to leave things as they are, because it feeds their ego to know that they possess knowledge very few others have access to.

### **Why is it so hard to modify this pattern?**

The impulse to just keep doing things by inertia is very powerful. Furthermore, there is a general feeling that learning must be fun, especially in the USA. In Russia, where I was born, we did not think this way. Surely, it gives us pleasure to solve a challenge or to learn a new thing, but students in Russia were told they must work hard. I want my Berkeley students to feel good in my lectures, feel happy when they see the results of their work, but this doesn't mean it will be easy. It's exactly the opposite. It's the achievement and hard work that bring satisfaction.

### **Do the competitions among students around the world stimulate interest in science?**

There isn't a strong correlation between winning competitions and knowing mathematics. One can train to exhaustion and to become able to solve certain types of problems quickly, which is the main ability needed in these competitions, without necessarily having the ability to do deep research in science. This, obviously, does not mean that math olympiads aren't important to the discipline. They are, as is the training of these students. But to find and to solve big problems, those problems no one had been able to solve before — which is to me the most noble mission of mathematics — requires another set of skills. The vast majority of olympiad winners in fact dedicate themselves to other things in life.

### **In that inhospitable environment where you grew up, what exactly attracted you to mathematics?**

The English poet William Blake wrote: "If the doors of perception were cleansed every thing would appear to man as it is, Infinite." I always liked science, but when I was a teenager everything related to mathematics seemed to be devoid of purpose. It was physics, specifically quantum physics, that interested me, because I thought it's the physicists who will find the answers to the biggest questions of the Universe. It was only 15, during the penultimate year of high school, when I met a mathematician, a friend of my parents, who had showed me a book linking math and physics. It was at that moment that I realized that formulas and theorems provided answers to questions I always wanted to solve. It was an epiphany, an amazing feeling. So I decided to dive into this world.

### **Why do you say mathematic transcend space and time?**

Because it is a universal language. Look, for example, at the Pythagoras Theorem, that was discovered more than 2000 years ago. It never had any updates and never will. It will always be the same and it will be understood in the same way in every place of the world. This is very impressive. In a world with so many problems and conflicts, we always talk about things that separate us and rarely do we find things that unite us. Mathematics is one of them. What do we humans have in common? We are the only species that do mathematics. Moreover, the formulas we discover can't be patented. They belong to all of us, because they are universal truths. No wonder mathematics is behind great human inventions in so many different areas.

### **Which ones?**

Look at the musical notes system, its beats and frequencies. The numbers lurking behind it all. What are the Escher (Dutch graphical artist) paintings, with its symmetric and illusionary figures,

but prodigious possibilities enabled by mathematics? Of course, by this I do not mean that there is nothing but numbers in the world. When I hear a special piece of music that makes me cry, I cannot explain it by a formula. It is much more than logic and reason. It is something that connects me with a profound feeling, which has no concrete translation. A computer can make symmetrical drawings and program music, but it will not make me cry!

### **What is your ambition now?**

When you are young and you join the profession, you think about winning awards. At the age of 21, when I was invited to Harvard, I also dreamed of a brilliant career, with diplomas and medals hanging in my office. Gradually, I realized, however, that when you know who you are and the importance of your contributions, you don't care about these sorts of things. That is what happened to me. I have a clear mission now: to help people to connect with mathematics and to demystify it as something insurmountable and incomprehensible. If I can advance this goal, I will have achieved the ultimate prize.

Edward Frenkel's interview to VEJA on January 7, 2015