

# Cálculo

MATEMÁTICA PARA TODOS

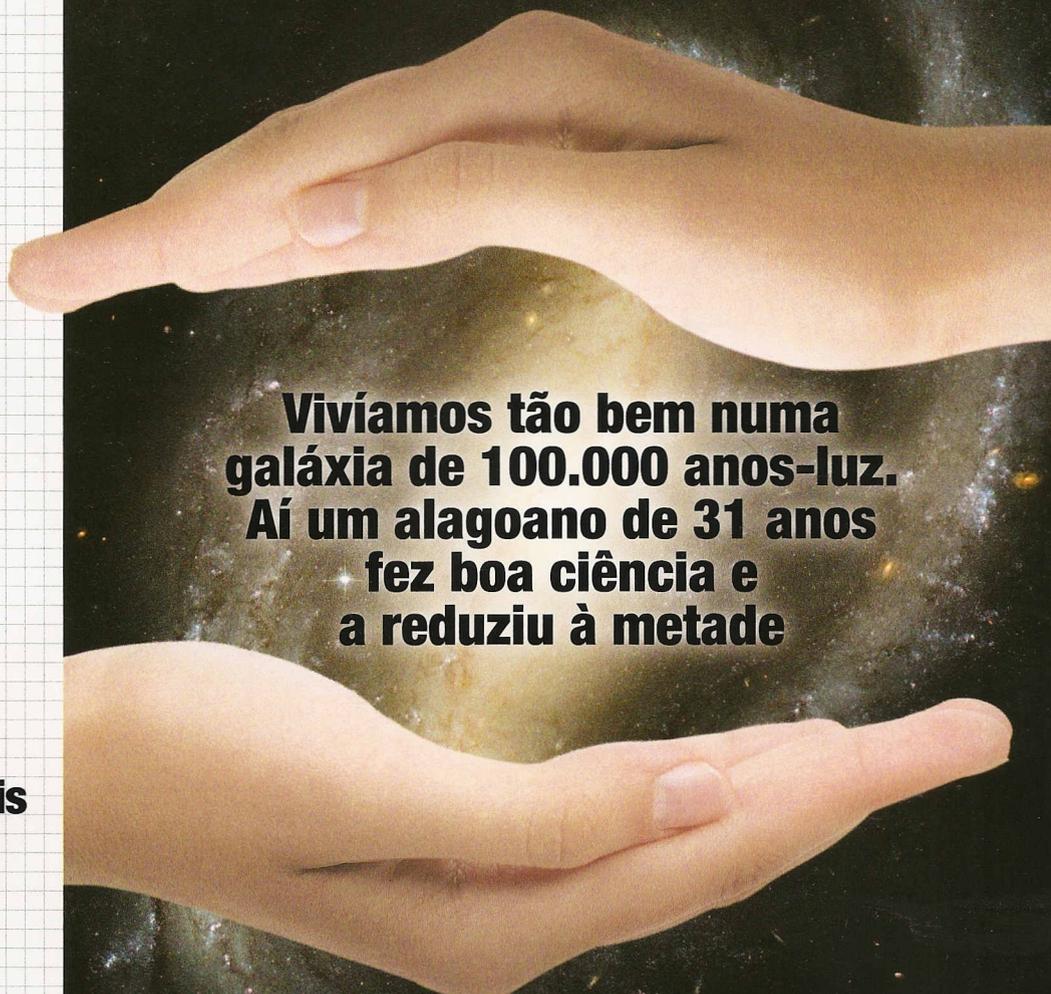


UM GUARDA-CHUVA ROSA SERVE PARA MEDIR TORRES



USOS DA MATEMÁTICA

## A Via Láctea diminuiu

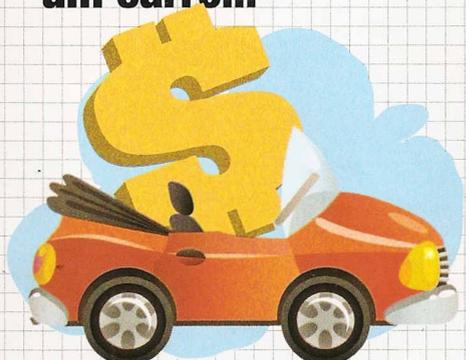


Vivíamos tão bem numa galáxia de 100.000 anos-luz. Aí um alagoano de 31 anos fez boa ciência e a reduziu à metade

Adolescentes usam bolhas em tubos d'água para se motivar



Quanto custa um carro...



... de verdade?

**Renaud Lambiotte**

Redes sociais eletrônicas guardam segredos sobre a espécie humana



ENTREVISTA

EDIÇÃO 2 - ANO 1 - MAR/2011 - R\$ 8,90

ISSN 2179-1384



00002



NA LIÇÃO DE CASA, A CRIANÇA OUVI 235 E ESCREVE 20035: RACIOCINOU COM LÓGICA



# Um brasileiro encolhe a Via Láctea

As manchas vermelhas são as regiões HII; elas marcam bem a estrutura da galáxia

---

## Alessandro Moisés, um jovem alagoano de 31 anos, passou cinco anos medindo a distância de certas regiões da nossa galáxia. Ele queria fazer só isso, mas no fim pôs em questão o tamanho da galáxia inteira

**D**ois brasileiros batem papo de pé, seguram uma xícara de café com uma das mãos, comem um biscoito com a outra. Essa história começou em 2004 assim: uma conversa rápida no intervalo de um congresso. Nos meses e anos seguintes, um desses brasileiros, Alessandro Pereira Moisés, mediu a luz de 27 regiões específicas da galáxia em que vivemos, a Via Láctea, e fez centenas de cálculos com as medições. A cada região, os cálculos lhe diziam que a Via Láctea é menor do que a humanidade imaginava.

Cientistas, quando tocam uma pesquisa demorada, publicam resultados parciais em encontros e congressos. Alessandro fez isso; participou de cinco encontros de astrônomos e publicou resumos de seu trabalho em dois congressos. Em todas as vezes, outros astrônomos lhe disseram com franqueza: ele certamente havia errado em algum lugar. Em 2011, essa história chegou ao seguinte ponto: Alessandro acha que a Via Láctea dever ter a metade do tamanho que os astrônomos diziam que tinha. Uns poucos ainda lhe dizem que ele errou, mas a maioria de seus primeiros críticos se mantém em silêncio. Que um sujeito como Alessandro erre uma ou outra medição, um ou outro cálculo, bem, é possível. Mas passar cinco anos fazendo medições e cálculos e errar todos eles? Isso é difícil. No mundo inteiro, por causa de Alessandro, há cientistas revendo medições e contas.

Alessandro Pereira Moisés, 31 anos, nascido em Palmeira dos Índios (Alagoas), faz parte de uma longa fila de cientistas que nos dizem: não, não estamos no centro do universo. No século 4 antes de Cristo, Aristóteles achava que todos os corpos celestes se moviam em torno da Terra. Mas, com esse modelo de universo, ficava difícil explicar o movimento do Sol, dos outros planetas e de tudo o que a humanidade via no céu à noite. Nicolau Copérnico (1473-1543) explicou mais coisas quando colocou a Terra para girar em torno do Sol. Depois disso, por vários séculos, a Terra girou em torno do Sol, mas o Sol ficava no centro da Via Láctea, e esse modelo de universo também tornava difícil explicar várias coisas. Em 1917, o americano Harlow Shapley explicou mais ainda quando colocou o Sol a 283 quatrilhões de quilômetros de distância do centro da galáxia (ou 30 mil anos-luz), mas, como consolo, pelo menos a humanidade vivia numa galáxia com 100 mil anos-luz de comprimento. E agora Alessandro explica mais ainda ao cortar o comprimento da Via Láctea à metade.

A história de Alessandro dá razão a Galileu Galilei (1564-1642): quem coleciona medições feitas com rigor cedo ou tarde descobre como a natureza funciona. Isso vale para o cientista, para o empresário e para a dona de casa, mas o método é tão simples que, com frequência, todos se esquecem dele.



**UM ASTRÔNOMO É COMO ALGUÉM PRESO TODA A VIDA NUM APARTAMENTO, MAS COM A AMBIÇÃO DE DESCOBRIR COMO A CIDADE FUNCIONA**

## O herói

Em 2004, Alessandro participava de um congresso de astronomia na USP, em São Paulo, e assistiu à palestra do professor Augusto Damini Neto. “Quando eu era adolescente”, diz Alessandro, “eu já lia textos do Augusto. Ele é uma espécie de herói para mim.” No intervalo para o café, Alessandro se aproximou do herói e puxou conversa. Explicou: vivia no Rio, tinha acabado o mestrado no Observatório Nacional, e queria fazer doutorado; será que o professor Augusto não precisava de um doutorando? Alessandro deu sorte. O professor precisava de um doutorando em astronomia.

Um ser humano é mais ou menos como o sujeito que nasceu num apartamento e, durante toda a sua vida, nunca saiu do apartamento. Ele nasceu, por exemplo, num apartamento do último andar do Mirante do Vale, o prédio mais alto de São Paulo. Ele não consegue ver nada da cidade durante o dia. Mas, à noite, ele vê a luz de outros apartamentos e de escritórios, a luz de postes em

ruas e avenidas, a luz de pontes e parques, a luz de automóveis. Quando ele olha para o céu escuro, vê as luzes de outras cidades inteiras: de Nova York num canto do céu e de Amsterdã no outro, do Rio de Janeiro e de Manaus, de Johannesburgo e de Tóquio. Um astrônomo, por sua vez, é o ser humano com a ambição de comparar as luzes que lhe chegam à janela do apartamento com as luzes de outras cidades, e, dessa comparação, deduzir o formato de São Paulo sem sair do apartamento.

O primeiro passo é fotografar toda a cidade de todas as janelas do apartamento. Uma aluna do professor Augusto, Elysandra Figuerêdo, já tinha feito isso. Há anos ela usa telescópios modernos para fotografar as regiões da Via Láctea em que existem “regiões HII gigantes”, ou seja, as regiões em que se formam estrelas de grande massa (dezenas, centenas de vezes a massa do Sol). Quando Alessandro e Augusto conversaram no café, Augusto precisava de alguém que escolhesse, em cada uma das fotos de Elysandra, as regiões HII mais importantes para estudá-las melhor.

## A escolha dos alvos

Astrônomos adoram as regiões HII. Se elas estão perto do sistema solar, eles conseguem medi-las de três formas, porque elas emitem ondas de rádio, radiação infravermelha, luz visível. Se elas estão longe, eles conseguem no mínimo medir as ondas de rádio. As regiões HII contêm estrelas, e estrelas são os objetos que os astrônomos mais conhecem. E as regiões HII gigantes têm 600, 700 anos-luz de diâmetro; elas são tão grandes que, por conta das leis da gravidade, são obrigadas a girar junto com a galáxia de modo mais ou menos comportado. “Elas são objetos traçadores”, diz Alessandro. “Elas nos ajudam a traçar o formato da Via Láctea.” Astrônomos usam as regiões HII para deduzir o formato da galáxia assim como o astrônomo trancado no último andar do Mirante do Vale usaria a luz de grandes avenidas, de pontes e de grandes prédios para deduzir o formato de São Paulo.

Alessandro estudou as fotos de Elysandra e escolheu os “alvos”. Depois disso, mandou a lista de alvos para um telescópio no Chile, o Soar, com as instruções. O pessoal do Soar deveria apontar o telescópio para cada uma das regiões HII da lista, tirar fotos e fazer várias medições.

ANO-LUZ



Um ano-luz é uma medida de distância, e não de tempo. Um ano-luz é a distância percorrida pela luz ao longo de um ano. Mas a luz é a coisa mais rápida do universo: no vácuo, ela viaja a 299.792 quilômetros por segundo. 300 mil quilômetros num mísero segundo! Um Boeing 777 leva 10 horas e 35 minutos para percorrer a rota São Paulo-Paris, de 9.376 quilômetros. A luz percorre essa distância em 31 milésimos de segundo. Bem, multiplicando a velocidade da luz por 365,2425 dias (o ano astronômico), o dia por

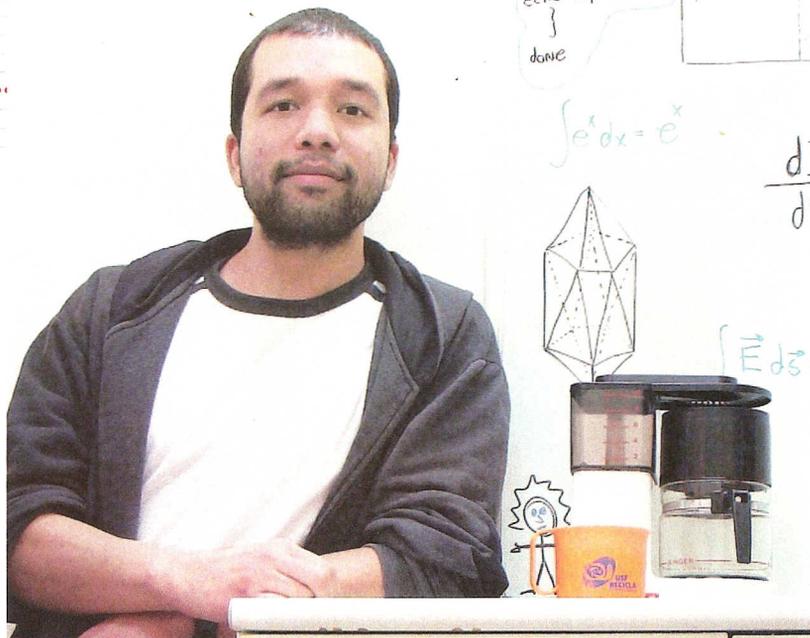
24 horas, as horas por 60 minutos, os minutos por 60 segundos, um ano-luz equivale a 9.460.730.472.581 quilômetros (para arredondar, 9 trilhões e 461 bilhões de quilômetros).

E por que os astrônomos medem distâncias com o ano-luz? As distâncias no universo são grandes demais para medir em quilômetros. A estrela mais próxima do Sol, Alfa do Centauro, está a 39.735.067.984.839 quilômetros de distância — ou seja, 4,2 anos-luz.

Por exemplo, deveria usar o espectrômetro para estudar a radiação infravermelha de cada alvo. (O astrônomo do apartamento usaria um prisma para dispersar a luz branca de uma lâmpada ao longe, e para saber que cores aquela lâmpada emite com mais força.) Com os resultados da espectrometria nas mãos, Alessandro diz que tipo de estrela está do outro lado. (O astrônomo do apartamento saberia dizer qual lâmpada existe do outro lado.) O pessoal do Soar também deveria usar outro instrumento para medir a quantidade de luz que chegou aqui, na Terra. Aí Alessandro usa raciocínio dedutivo — e matemática.

Se ele sabe que tipo de estrela há do outro lado, então sabe quanta luz saiu da estrela. Se ele sabe quanta luz chegou aqui, então enfia essas duas informações numa equação logarítmica e obtém a distância da estrela. As fórmulas que explicam como a luz se enfraquece com a distância são bem conhecidas. Se o astrônomo no Mirante do Vale sabe que uma lâmpada de 150 watts emite luz com certa intensidade, e se ele mede menos intensidade chegando ao apartamento, então ele sabe que essa lâmpada está a, por exemplo, 2 quilômetros de distância.

Enquanto o povo do Soar trabalhava, Alessandro acompanhava as medições via internet. Mas, em 2007, passou quatro noites no Soar, no Cerro Pachón (Cordilheira dos Andes), a 2.700



Sempre que Alessandro Moisés comparava seus resultados com aqueles obtidos por outros cientistas, os seus indicavam uma Via Láctea menor

## “NO TELESCÓPIO, A ROTINA É JANTAR À TARDINHA E FAZER MEDIÇÕES A NOITE TODA”

metros de altitude. “Tem um dormitório lá”, diz Alessandro. “A rotina é descansar de dia, jantar antes de anoitecer, e apontar o telescópio e fazer as medições a noite inteira, sem parar. Telescópios são sistemas muito caros, então o pessoal do Soar não perde tempo.”

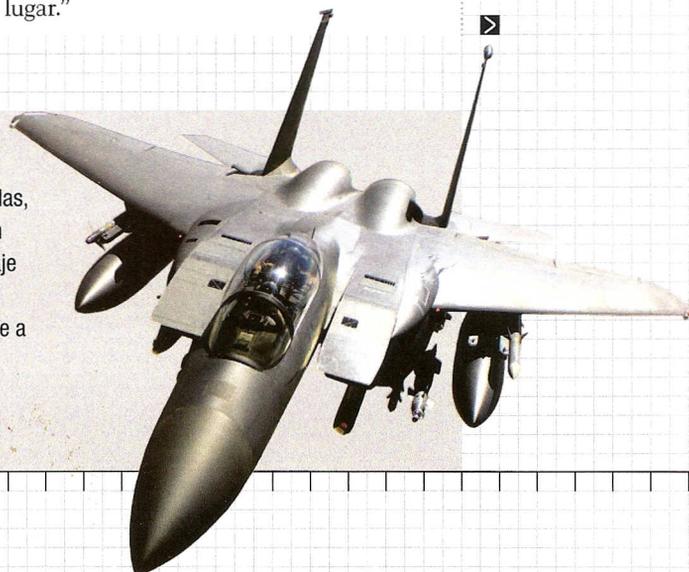
### “Você errou”

Toda vez que Alessandro calculava a distância de uma região III, comparava seus cálculos com aqueles feitos por astrônomos antes dele, e toda vez seus cálculos mostravam distância menor. “E aí o pessoal do método cinemático”, diz Alessandro, “me dizia que eu tinha errado em algum lugar.”

### ANO-F-15

É a distância percorrida por um F-15, o jato de caça da McDonnell Douglas, ao longo de um ano, desde que o avião não pare um único instante, nem para abastecer, nem para o piloto ir ao banheiro, e desde que o avião viaje à velocidade máxima de 2.600 quilômetros por hora, ou 43 quilômetros por minuto, ou 0,72 quilômetro por segundo. Logo, um ano-F-15 equivale a 22.791.053 quilômetros, ou 0,00024% do ano-luz.

Nessa velocidade, para chegar à estrela Alfa do Centauro, um F-15 precisaria de 1 milhão e 743 mil anos.

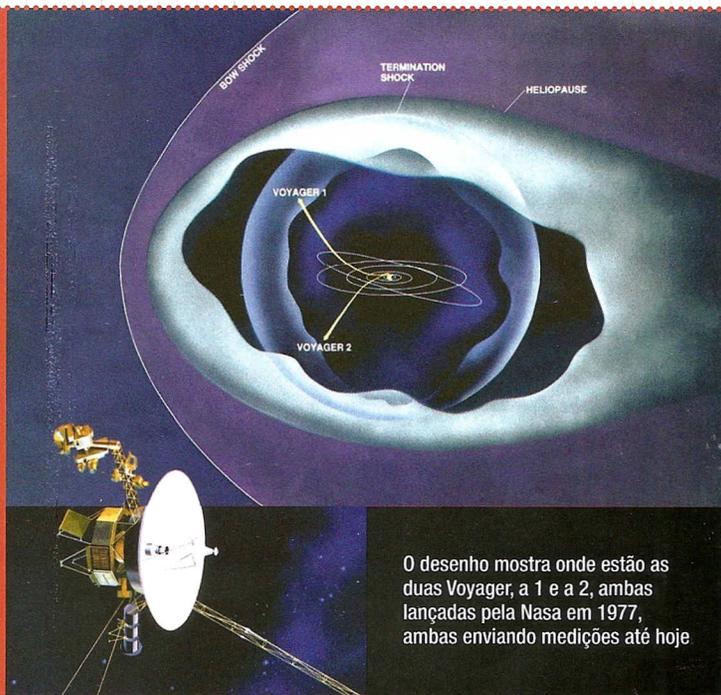


**ANO-VOYAGER**

É a distância percorrida pela sonda espacial Voyager 1 ao longo de um ano. A Voyager 1 foi lançada pela Nasa no dia 5 de setembro de 1977 e, desde então, está viajando a 17 quilômetros por segundo, ou seja, 538.552.335 quilômetros por ano. Isso é 0,006% do ano-luz.

Ela ainda não saiu dos limites do sistema solar, embora já tenha percorrido 17 bilhões de quilômetros desde 1977. Segundo a Nasa, vai precisar de mais uns quatro anos.

Na velocidade da Voyager, para chegar à estrela Alfa do Centauro, uma nave precisaria de 70.000 anos.



O desenho mostra onde estão as duas Voyager, a 1 e a 2, ambas lançadas pela Nasa em 1977, ambas enviando medições até hoje

## “EU QUERO DEVOLVER À SOCIEDADE O INVESTIMENTO QUE ELA FEZ EM MIM”

Em geral, uma região HII está tão longe (do outro lado da galáxia) que não dá para medir direito a luz ou a radiação infravermelha, como Alessandro fez; a luz e a radiação mal chegam à Terra. Mas ondas de rádio chegam. Por isso os astrônomos empregam o método cinemático: eles usam radiotelescópios (como aquele do filme *Contato*) para medir a velocidade com que a região HII se afasta ou se aproxima da Terra. Se a região se afasta, as ondas de rádio ficam cada vez maiores. Se a região se aproxima, as ondas de rádio ficam cada vez menores. “É o efeito Doppler”, diz Alessandro, “que é bem conhecido.” Só que as fórmulas de Doppler-Fizeau dão a velocidade com que o objeto se aproxima ou se afasta, mas não a distância. “Para calcular a distância”, explica Alessandro, “a gente tem de entrar com a velocidade num modelo de rotação da galáxia.” Esse modelo (um programa de computador, que simula a galáxia) recebe a velocidade, faz contas e fornece a distância.

Contudo, assim como o astrônomo do Mirante do Vale nunca saiu do apartamento em que

nasceu, nenhum humano nunca saiu do sistema solar, que dirá da galáxia. Os astrônomos não sabem direito como a Via Láctea é. Para fazer um modelo de rotação, eles são obrigados a pressupor muita coisa: se a galáxia é espiral com barra, se ela tem dois ou quatro braços, se sua massa é X ou Y. Por mais técnica que seja a pressuposição, é uma pressuposição.

O pessoal do método cinemático, contudo, perguntava: Alessandro, e se a intensidade da luz, que você mediu, diminuiu não por causa da distância, mas porque existem gás e poeira escuros entre a Terra e a região HII? (É como se eles tivessem perguntado: e se houvesse poluição e fuligem entre você e aquela lâmpada de 150 watts?) “É uma possibilidade”, diz Alessandro. “Eles nunca questionaram as medições, mas minha interpretação.”

Alessandro, Augusto e Elysandra até se reuniram para decidir o que fazer. Bem, há cientistas que vivem só de definir quanta matéria escura existe na Via Láctea, ou seja, até que ponto ela é transparente ou opaca. Alessandro foi atrás dos artigos desses cientistas, e escolheu o pior caso de todos (o meio interestelar é mais opaco) e o melhor caso (o meio interestelar é mais transparente). A partir daí, a cada região HII, Alessandro fez todos os cálculos para o pior e o melhor caso. Em cinco anos, ele mediu 27 regiões HII e estudou outras 54, até publicar a tese de douto-

rado. Em cada um dos 81 casos, a região HII estava mais perto do que se acreditava antes, o que sugere uma Via Láctea menor, talvez com 50 mil anos-luz de comprimento. “Agora”, diz Alessandro, “o pessoal do método cinemático já aceita que existe alguma coisa errada a ser investigada.”

## Missão: frações

Daqui para a frente, Alessandro pretende continuar a fazer o que vinha fazendo: medir as regiões HII gigantes mais perto da Terra. Existem 100, ele já mediu 27, faltam 73. “É trabalho para mais uns dez anos”, diz Alessandro. “Isso porque o Brasil não tem tanto tempo assim nos telescópios. Temos de entrar na fila.” Ele já fez a lista de objetos que pretende fotografar e medir em 2011, e já mandou a lista para o povo do Soar.

Vai fazer esse trabalho ao mesmo tempo em que toca seu novo emprego: ele virou professor de matemática e de física da Univasf, em São Raimundo Nonato (Piauí). Dará aulas para os alunos do curso de ciências da natureza, que depois vão se transformar em professores de ciências nas escolas do ensino fundamental (1º ao 9º ano). Para Alessandro, tudo o que ele sabe, sabe graças ao povo brasileiro. Nas primeiras páginas

## CIÊNCIA NÃO É RELIGIÃO

Alessandro Moisés diz que todos os seus dados “apontam para uma galáxia menor”, mas, como bom cientista, ele prefere esperar uns anos até fazer afirmações categóricas. “Talvez alguém proponha uma explicação melhor para minhas medições. Se alguém propuser, serei o primeiro a aceitá-la.”

da tese de doutorado, escreveu: “Ao povo brasileiro, que financiou o meu trabalho por meio do CNPq, sob o projeto nº 141420/2005-7.” Por isso ele prestou concurso público e se mudou para São Raimundo Nonato. “Eu quero devolver à sociedade o investimento que ela fez em mim.”

Em fevereiro, ele ainda não conhecia seus alunos direito. Dava um curso de verão, para quem foi mal nos semestres anteriores. “Eles precisam de aulas sobre coisas muito básicas mesmo: somar frações, resolver equações de segundo grau. É uma lástima.” Ao dizer isso, Alessandro avisa: “Não estou reclamando. Eles carregam deficiências desde o primeiro ano do primeiro grau. Então, tenho de arregaçar as mangas e explicar tudo direitinho.”

## PARA A LUZ, TUDO ESTÁ QUASE PARADO

Uma pessoa anda a uns seis quilômetros por hora. E se a luz, em vez de viajar a 300.000 quilômetros por segundo, viajasse a 80 quilômetros por hora? Mantendo a proporção, qual seria a velocidade de uma pessoa a pé?

Essa é uma regra de três simples, em que  $x$  é a velocidade da pessoa nesse mundo de luz mais lenta.

$$\frac{80 \cdot \frac{km}{h}}{x} = \frac{300.000 \cdot \frac{km}{s}}{6 \cdot \frac{km}{h}}$$

Vamos padronizar as unidades de medida em quilômetros por segundo:

$$\frac{0,022 \cdot \frac{km}{s}}{x} = \frac{300.000 \cdot \frac{km}{s}}{0,00167 \cdot \frac{km}{s}}$$

Sendo assim:

$$x = \frac{0,022 \cdot 0,00167 \cdot \frac{km}{s}}{300.000} \dots$$

$$x = 0,00000000122467 \cdot \frac{km}{s} \dots$$

$$x = 0,00000044088 \cdot \frac{km}{h}$$

Em outras palavras (faça as contas), se a luz viajasse a 80 quilômetros por hora, uma pessoa levaria 259 anos para andar um quilômetro.

