

e se...?  
Respostas científicas  
para perguntas absurdas  
randall munroe

Tradução de Renato Carreira



**SAÍDA DE EMERGÊNCIA**  
livros para fugir da rotina

# AVISO

---

Não tente nada disto em casa. O autor deste livro faz *cartoons* na internet. Não é um perito em saúde ou segurança. Gosta de ver coisas pegarem fogo ou rebentarem, o que significa que não se preocupa com o seu bem-estar. O editor e o autor rejeitam qualquer responsabilidade por todos os efeitos adversos que resultem, direta ou indiretamente, da informação contida neste livro.



# INTRODUÇÃO

---

**ESTE LIVRO É UMA** compilação de respostas a perguntas hipotéticas.

Estas perguntas foram-me colocadas através do meu *site*, onde (além de funcionar como uma espécie de Consultório Sentimental para cientistas loucos) publico o *xkcd*, um *webcomic* com figuras de arame.

Fazer banda desenhada não foi a minha primeira ocupação. Estudei Física e, depois de obter o meu diploma, trabalhei no departamento de robótica da NASA. Deixei a NASA para fazer banda desenhada a tempo inteiro, mas o meu interesse pela ciência e pela matemática não esmoreceu. Acabei por descobrir uma nova forma de o satisfazer: responder às perguntas estranhas (e por vezes preocupantes) da internet. Este livro contém uma seleção das minhas respostas favoritas entre todas as que foram publicadas no *site*, além de várias perguntas novas que serão respondidas aqui pela primeira vez.

Desde que me lembro, uso a matemática para tentar responder a perguntas estranhas. Quando tinha cinco anos, a minha mãe teve uma conversa comigo que anotou e guardou num álbum de fotografias. Quando soube que escrevia este livro, encontrou a transcrição e enviou-ma. Aqui está ela, reproduzida textualmente do seu pedaço de papel com vinte e cinco anos:

**Randall:** Há mais coisas macias ou duras na nossa casa?

**Julie:** Não sei.

**Randall:** E no mundo?

**Julie:** Não sei.

**Randall:** Bom, cada casa tem três ou quatro almofadas, certo?

**Julie:** Certo.

**Randall:** E cada casa tem uns 15 ímanes, certo?

**Julie:** Acho que sim.

**Randall:** 15 mais 3 ou 4, pode ser 4, dá 19, certo?

**Julie:** Certo.

**Randall:** Então deve haver uns três mil milhões de coisas macias e... cinco mil milhões de coisas duras. Qual ganha?

**Julie:** Acho que são as coisas duras.

Até este dia, não percebo onde fui buscar os «três mil milhões» e os «cinco mil milhões». Claramente, ainda não percebia bem como funcionavam os números.

A minha matemática melhorou um pouco com os anos, mas o meu motivo para a aplicar não mudou desde os meus cinco anos: quero responder a perguntas.

Diz-se que não há perguntas estúpidas. Obviamente, isso é um erro. Acho que a minha pergunta sobre coisas duras e coisas macias, por exemplo, é bastante estúpida. Mas tentar responder pormenorizadamente a uma pergunta estúpida pode levar-nos a sítios muito interessantes.

Continuo sem saber se há mais coisas duras ou macias no mundo, mas aprendi muitas outras coisas pelo caminho. O que se segue são alguns dos meus momentos preferidos dessa viagem.

RANDALL MUNROE

**e se...?**



## VENDAVAL GLOBAL

**P:** Que aconteceria se a Terra e todos os objetos terrestres parassem de girar de repente, mas a atmosfera mantivesse a velocidade?

— **Andrew Brown**

---

**R:** QUASE TODA A GENTE MORRERIA. A seguir, as coisas ficariam interessantes.

No equador, a superfície da Terra move-se a cerca de quatrocentos e setenta metros por segundo, pouco mais de mil e seiscentos quilômetros por hora, relativamente ao seu eixo. Se a Terra parasse e o ar não, o resultado seria um vento repentino de mil e seiscentos quilômetros por hora.

O vento seria mais intenso no equador, mas todos e tudo o que existisse entre quarenta graus norte e quarenta e dois graus sul, incluindo 85% da população mundial, teriam de lidar subitamente com ventos supersônicos.

Os ventos mais fortes durariam apenas alguns minutos junto à superfície. A fricção com o solo abrandá-los-ia. No entanto, esses minutos seriam suficientes para reduzir a ruínas praticamente todas as construções humanas.





- ACONTECEM COISAS TERRÍVEIS
- ACONTECEM COISAS TERRÍVEIS, MAS MAIS DEVAGAR

Boston, onde vivo, fica suficientemente a norte para ficar fora da zona de ventos supersónicos, mas, mesmo assim, os ventos na minha cidade teriam o dobro da intensidade dos ventos que constituem os tornados mais poderosos. Os edifícios, de cabanas de madeira a arranha-céus, seriam arrasados, arrancados aos alicerces e arrastados para longe.

Os ventos seriam mais fracos perto dos polos, mas não existem cidades suficientemente distantes do equador para escapar à devastação. Longyearbyen, na ilha norueguesa de Svalbard, a cidade com a latitude mais elevada no planeta, seria devastada por ventos iguais aos dos ciclones tropicais mais poderosos.

Se pretendesse esperar por uma melhoria, um dos melhores sítios para o fazer talvez fosse Helsínquia, na Finlândia. Apesar de a sua latitude (acima de 60° N) não ser suficiente para impedir a destruição provocada pelos ventos, o solo rochoso de Helsínquia alberga uma rede sofisticada de túneis, juntamente com um centro comercial subterrâneo, um ringue de hóquei, um complexo de piscinas e outros equipamentos.



Nenhum edifício ficaria a salvo. Até estruturas suficientemente fortes para sobreviver aos ventos teriam problemas. Como disse o comediante Ron White acerca dos furacões: «O problema não é o vento que sopra e sim o que o vento sopra.»

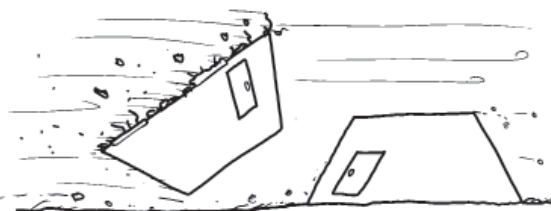
Imagine que estava num abrigo gigantesco construído com um material capaz de suportar ventos de mil e seiscentos quilómetros por hora.

DEPOIS, O 92º PORQUINHO CONSTRUIU  
UMA CASA DE URÂNIO EMPOBRECIDO.

E O LOBO DISSE: "EPÁ..."



Seria bom e estaria a salvo se fosse a única pessoa com um abrigo. Infelizmente, era provável que tivesse vizinhos e, se o vizinho mais próximo na direção de onde o vento soprava tivesse um abrigo com uma construção menos sólida, teria de suportar o embate do seu abrigo a mil e seiscentos quilómetros por hora.



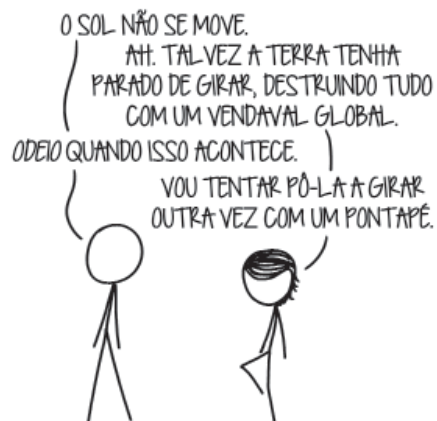
A espécie humana não se extinguiria.<sup>1</sup> No geral, muito poucas pessoas sobreviveriam à superfície. Os destroços soprados pelo vento pulverizariam qualquer coisa que não tivesse sido atómicamente endurecida. No entanto, muita gente debaixo do chão ficaria ileso. Se estivesse numa cave funda (ou, melhor ainda, num túnel de metro) quando acontecesse, teria boas hipóteses de sobreviver.

Haveria outros sobreviventes afortunados. As dúzias de cientistas e

<sup>1</sup> Não imediatamente, pelo menos.

peçoal técnico da estação de investigação Amundsen-Scott no Polo Sul estariam a salvo dos ventos. Para eles, o primeiro sinal de perigo seria o silêncio súbito do resto do mundo.

O silêncio misterioso talvez os distraísse durante algum tempo, mas alguém acabaria por reparar numa coisa ainda mais estranha:



## O ar

Com o abrandar dos ventos à superfície, as coisas ficariam ainda mais estranhas.

As rajadas de vento transformar-se-iam em rajadas de calor. Normalmente, a energia cinética do vento é suficientemente baixa para ser ignorada, mas não se trataria de um vento normal. Com a sua paragem turbulenta, o ar começaria a aquecer.

Nos continentes, isto provocaria temperaturas escaldantes e, nas áreas de ar húmido, trovoadas globais.

Ao mesmo tempo, o vento que soprasse sobre os oceanos agitaria e atomizaria a camada superficial da água. Por um momento, o oceano deixaria de ter superfície. Seria impossível perceber onde terminavam as explosões de gotas e onde começava o mar.

Os oceanos são muito frios. Abaixo da fina camada superficial, mantêm-se a uma temperatura bastante uniforme de 4°C. A tempestade faria subir água fria mais profunda. O influxo de água fria em contacto com o ar sobreaquecido criaria um tipo de clima nunca antes visto na Terra, uma mistura caótica de vento, aguaceiros, névoa e mudanças de temperatura rápidas.

Esta deslocação das águas provocaria uma inundação de nutrientes nas camadas superiores. Ao mesmo tempo, resultaria numa enorme mortandade entre peixes, caranguejos, tartarugas-marinhas e outros animais incapazes de suportar o influxo de água pobre em oxigénio vinda das profundezas. Qualquer animal que precisasse de respirar ar, como as baleias e os golfinhos, teria dificuldades para sobreviver na superfície turbulenta do mar.

As ondas varreriam o globo, de leste para oeste, e todas as costas voltadas para leste enfrentariam as maiores tempestades da sua história. Uma nuvem cegante de gotas de água do mar avançaria pela terra dentro, trazendo atrás de si uma parede de água imparável que avançaria como um tsunami. Em alguns locais, as ondas galgariam muitos quilómetros.

Os vendavais projetariam grandes quantidades de pó e detritos para a atmosfera. Ao mesmo tempo, um manto denso de nevoeiro formar-se-ia sobre as superfícies marinhas frias. Isto provocaria a queda abrupta da temperatura global.

Pelo menos, de um lado da Terra.

Se a Terra parasse de girar, o ciclo normal de dias e noites chegaria ao fim. O Sol não pararia por completo de cruzar o céu, mas, em vez de se erguer e de se pôr uma vez por dia, aconteceria apenas uma vez por ano.

Cada dia e cada noite duraria seis meses, mesmo no equador. No lado diurno, a superfície tornar-se-ia insuportável com a luz constante e, no lado noturno, haveria quedas vertiginosas de temperatura. A convecção no lado diurno provocaria tempestades imensas na área diretamente por baixo do Sol.<sup>2</sup>



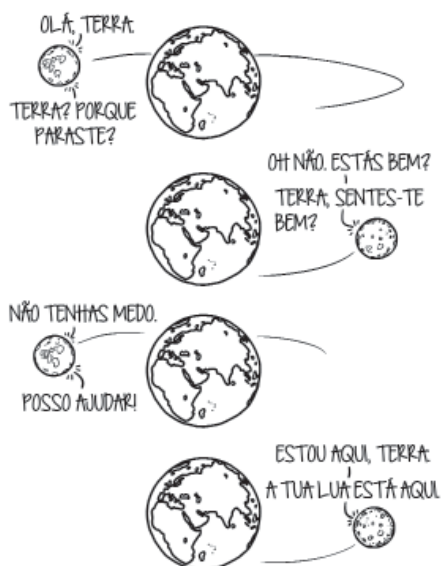
De algumas formas, a Terra parecer-se-ia com um dos exoplanetas com acoplamento de maré comumente encontrados na zona habitável

<sup>2</sup> Mas, sem a força inercial de Coriolis, ninguém poderia calcular em que direção avançariam.

em torno de uma estrela anã vermelha, mas poderá fazer-se uma comparação mais acertada com o planeta Vénus nos seus primórdios. Devido à sua rotação, Vénus, como a Terra travada do nosso exemplo, mantém a mesma face virada para o Sol durante meses. No entanto, a sua atmosfera densa circula a uma velocidade considerável, o que resulta num equilíbrio de temperatura aproximado entre a face diurna e a face noturna.

Apesar da alteração na duração do dia, não haveria alteração na duração do mês! A Lua não deixaria de girar em torno da Terra. No entanto, sem a rotação da Terra para alimentar o seu movimento, a Lua pararia de se afastar gradualmente da Terra (como acontece atualmente) e voltaria a aproximar-se lentamente.

Na verdade, a ação da Lua, nossa fiel companheira, contribuiria para desfazer os estragos provocados pelo cenário proposto pelo Andrew. Neste momento, a Terra gira mais depressa que a Lua e o nosso acoplamento de maré abranda a rotação terrestre enquanto afasta a Lua de nós.<sup>3</sup> Se parássemos de girar, a Lua pararia de se afastar de nós. Em vez de nos abrandar, o acoplamento de maré aceleraria o nosso movimento. Aos poucos, com cuidado, a gravidade da Lua atuaria sobre o nosso planeta...



<sup>3</sup> Ver *Leap Seconds* (<https://what-if.xkcd.com/26>) para uma explicação do que motiva isto.

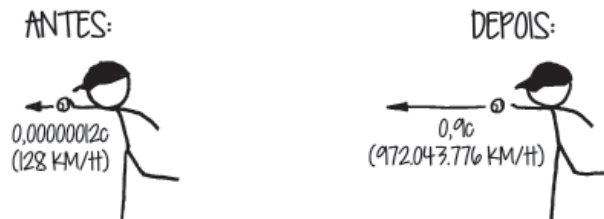
... e a Terra recomeçaria a girar.



## BASEBOL RELATIVISTA

**P:** Que aconteceria se alguém tentasse bater uma bola de basebol lançada a 90% da velocidade da luz?

— **Ellen McManis**



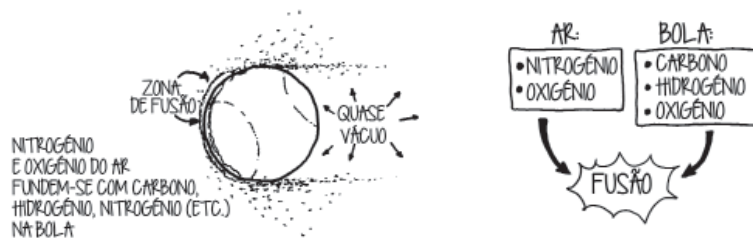
*Ponhamos de parte a forma de conseguir mover a bola a esta velocidade. Vamos supor que será um lançamento normal que, no momento em que o lançador liberta a bola, conhecerá uma aceleração mágica até  $0,9c$ . Desse ponto em diante, tudo ocorre segundo as regras normais da física.*

**R:** A RESPOSTA SERÁ «muitas coisas» que acontecerão muito depressa e em simultâneo e sem que o batedor (ou o lançador) tenham bom fim. Debrucei-me sobre alguns livros de Física, um boneco articulado do Nolan Ryan e um monte de cassetes de vídeo de testes nucleares, tentando esclarecer os pormenores. O que se segue é a minha melhor tentativa de conseguir um retrato dos acontecimentos, nanossegundo a nanossegundo.

A bola viajaria tão depressa que tudo o resto ficaria praticamente imóvel. Até as moléculas no ar ficariam paradas. Vibrariam para

trás e para diante a centenas de quilómetros por hora, mas a bola mover-se-ia através delas a quase mil milhões de quilómetros por hora. Isto significa que, no que à bola diria respeito, seria como se estivessem paralisadas.

Os preceitos da aerodinâmica não se aplicariam aqui. Normalmente, o ar flui em torno de qualquer coisa que se mova através dele. Mas as moléculas do ar diante desta bola não teriam tempo para serem empurradas para fora do seu caminho. A bola atingi-las-ia em cheio e com tanta violência que os átomos nas moléculas de ar se fundiriam com os átomos na superfície da bola. Cada colisão provocaria uma explosão de raios gama e partículas dispersas.<sup>4</sup>



Estes raios gama e as partículas expandir-se-iam numa bolha com o monte do lançador como centro. Começariam a desfazer as moléculas do ar, arrancando os elétrons aos núcleos e transformando o ar no estágio numa bolha crescente de plasma incandescente. O exterior desta bolha aproximar-se-ia do batedor com velocidade comparável à da luz, apenas ligeiramente adiantado em relação à bola.

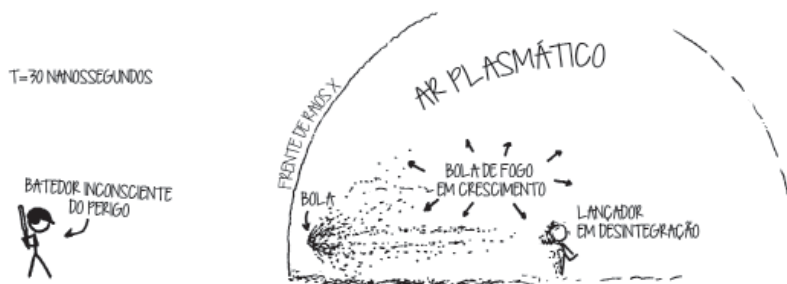
A fusão constante na parte dianteira da bola empurrá-la-ia em sentido contrário, abrandando-a, como se fosse um foguetão voando com a cauda para a frente e ativando os motores. Infelizmente, a bola mover-se-ia com tamanha velocidade que nem a força tremenda desta explosão termonuclear conseguiria abrandá-la de forma significativa. Mas a sua superfície começaria a ceder, projetando fragmentos minúsculos de bola em todas as direções. Estes fragmentos viajariam tão depressa

<sup>4</sup> Depois da publicação original deste artigo, Hans Rinderknecht, físico do MIT, contactou-me para dizer que tinha simulado este cenário nos computadores do seu laboratório. Descobriu que, na fase inicial do voo da bola, a maioria das moléculas de ar mover-se-iam com demasiada velocidade para provocar a fusão e atravessariam a bola, aquecendo-a de forma mais lenta e uniforme do que foi descrito no meu texto.



que, quando atingissem moléculas de ar, desencadeariam mais duas ou três ocorrências de fusão.

Cerca de setenta nanossegundos depois, a bola chegaria à base. O batedor nem sequer teria visto o lançador libertá-la, já que a luz transportando essa informação chegaria até ele ao mesmo tempo que a bola. As colisões com moléculas do ar teriam corroído a bola quase por completo e esta ter-se-ia transformado numa nuvem de plasma (sobretudo carbono, oxigénio, hidrogénio e nitrogénio) em expansão e com forma de bala, viajando através do ar e desencadeando mais fusões pelo caminho. O batedor seria atingido em primeiro lugar pela carapaça de raios X e, um punhado de nanossegundos depois, chegaria a nuvem de partículas.



Quando chegasse à base, o centro da nuvem continuaria a mover-se a uma fração considerável da velocidade da luz. Atingiria o taco em primeiro lugar e, em seguida, o batedor, a base e o apanhador seriam empurrados para trás pela barreira enquanto se desintegravam. A carapaça de raios X e de plasma sobreaquecido expandir-se-ia para fora e para cima, engolindo a barreira, os bancos das duas equipas, as bancadas e o bairro envolvente. Tudo isto no primeiro microssegundo.

Imagine-se que alguém assistia de uma montanha fora da cidade. A primeira coisa que veria seria uma luz cegante muito mais intensa que a do Sol. Dissipar-se-ia gradualmente em poucos segundos e uma bola de fogo erguer-se-ia até formar uma nuvem em cogumelo. Depois, com um grande trovejar, a onda de choque arrancaria árvores e despedaçaria casas.

Tudo o que existisse num raio de aproximadamente quilómetro e meio em torno do estádio seria arrasado e uma colossal massa de chamas envolveria a cidade em redor. O campo de baseball, agora uma cra-

tera de tamanho considerável, ficaria centrado algumas centenas de metros atrás da anterior localização da barreira.



A regra 6.08(b) da *Major League Baseball* sugere que, nesta situação, o batedor seria considerado «atingido pelo lançamento» e poderia avançar até à primeira base.

## TANQUE DE COMBUSTÍVEL NUCLEAR ESGOTADO

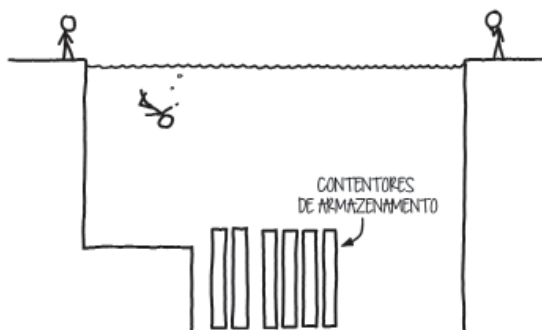
**P:** E se nadasse num tanque comum de combustível nuclear esgotado? A que profundidade precisaria de mergulhar para entrar em contacto com uma dose letal de radiação? Quanto tempo poderia passar à superfície em segurança?  
— **Jonathan Bastien-Filiatrault**

---

**R: PARTINDO DO PRINCÍPIO** de que será um nadador razoável, era provável que conseguisse sobreviver na água entre dez e quarenta horas. Depois desse tempo, perderia os sentidos como consequência da fadiga e afogar-se-ia. O mesmo se aplica a qualquer tanque sem combustível nuclear no fundo.

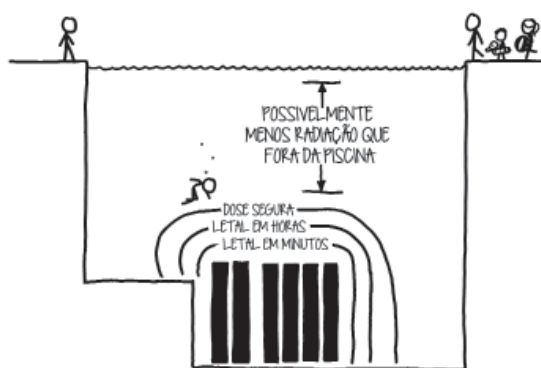
O combustível nuclear esgotado é altamente radioativo. A água é ideal para proteger das radiações e também para o arrefecimento e, por isso, o combustível é armazenado no fundo de tanques durante um par de décadas até ficar suficientemente inerte para ser transferido para contentores secos. Ainda não há acordo quanto ao local onde estes contentores secos poderão ser guardados. Talvez fosse boa ideia decidirmos isso um destes dias.

A configuração de um tanque de combustível usado é esta:



O calor não seria grande problema. A temperatura da água num destes tanques poderá chegar teoricamente aos 50°C, mas, na prática, costuma andar entre os vinte e cinco e os trinta e cinco graus, mais quente que a maioria das piscinas mas mais fria que uma banheira de hidromassagem.

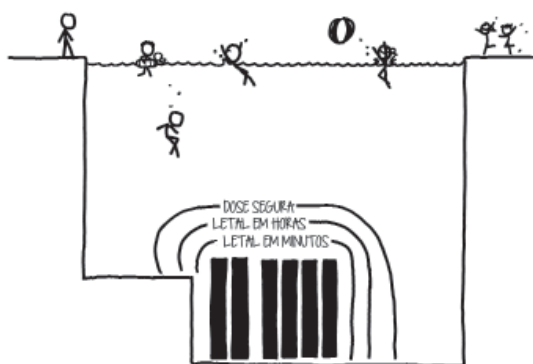
As varetas de combustível mais radioativas são as que foram recentemente removidas de um reator. Para os tipos de radiação emitida pelo combustível nuclear esgotado, cada sete centímetros de água cortam em metade a quantidade de radiação. Baseando-nos nos níveis de atividade descritos num relatório da *Ontario Hydro*, seria esta a zona de perigo para varetas de combustível recentes:



Nadar até ao fundo, encostar o cotovelo a um contentor de combustível fresco e voltar à superfície era suficiente para matar quem o fizesse.

No entanto, fora deste limite, seria possível nadar durante tanto tempo quanto se desejasse. A dose proveniente dos materiais no fundo seria menor que a dose normal a que estará sujeita uma pessoa que dê um

passeio. Durante o tempo que alguém passasse submerso, ficaria protegido da maior parte dessa dose normal. Será possível ser atingido por menos radiação enquanto se flutua na água de um tanque de combustível esgotado do que quando se anda pela rua.



*Não esquecer: Sou um cartoonista. Se seguir os meus conselhos de segurança acerca da proximidade de materiais nucleares, é provável que mereça o que lhe vier a acontecer.*

Isto apenas se aplicará se tudo correr de forma normal. Se houver corrosão nos invólucros da vareta de combustível, poderá haver derivados da cisão na água. Os responsáveis asseguram-se sempre de que a água está limpa e de que não seria perigoso nadar nela, mas é suficientemente radioativa para não ser legal vendê-la como água engarrafada<sup>5</sup>.

Sabemos que os tanques de combustível esgotado podem ser seguros para nadar porque são rotineiramente inspecionados por mergulhadores humanos.

No entanto, estes mergulhadores precisam de ser cuidadosos.

No dia 31 de agosto de 2010, um mergulhador trabalhava no tanque de combustível esgotado do reator nuclear de Leibstadt, na Suíça. Avistou um tubo não identificado no fundo do tanque e contactou o seu supervisor pelo rádio, perguntando o que devia fazer. Foi-lhe dito que o colocasse no seu cesto de ferramentas e obedeceu. O ruído das bolhas na piscina impediu-o de ouvir o alarme de radiação.

Quando o cesto de ferramentas foi içado da água, os alarmes de radiação exteriores começaram a soar. O cesto foi novamente mergulhado

<sup>5</sup> E é pena. Seria uma bebida energética e tanto.

e o mergulhador saiu da piscina. Os crachás dosímetros do mergulhador mostravam que tinha sido submetido a uma dose superior ao normal em todo o corpo e que a dose na mão direita fora extremamente elevada.

O objeto não identificado era um tubo protetor de um monitor de radiação no núcleo do reator, tornado altamente radioativo pelo fluxo de neutrões. Fora acidentalmente cortado durante o fecho de uma cápsula em 2006. Caiu até ao fundo do tanque num canto remoto, onde permaneceu anos sem ser detetado.

O tubo era tão radioativo que, se o mergulhador o tivesse colocado no cinto ou num saco às costas, junto ao corpo, teria morrido. Porque não o fez, a água protegeu-o e apenas a mão, uma parte do corpo mais resistente à radiação do que os órgãos internos delicados, recebeu uma dose elevada.



No que diz respeito à segurança de nadar nestes tanques, podemos resumir a questão assim: é provável que seja seguro, desde que não se mergulhe até ao fundo e desde que não se pegue em objetos estranhos.

Para ter a certeza, contactei um amigo que trabalha num reator de pesquisa e perguntei-lhe o que achava que aconteceria a alguém que tentasse nadar no tanque protetor do reator.

«No nosso reator?» Pensou no assunto por um momento. «Morreria muito depressa antes de chegar à água. Com vários ferimentos de bala.»

## PERGUNTAS ESTRANHAS (E PREOCUPANTES) DA CAIXA DE CORREIO E SE? Nº 1

---

**P:** Seria possível arrefecer tanto os dentes que se estilhaçassem quando bebêssemos uma chávena de café quente?

— **Shelby Hebert**

OBRIgADO PELO MEU NOVO PESADELO  
RECORRENTE, SHELBY.



**P:** Quantas casas são destruídas pelas chamas nos Estados Unidos em cada ano? Qual seria a forma mais fácil de aumentar esse número de maneira significativa (digamos, em 15%, pelo menos)?

— **Anónimo**

ESTOU, FALA DA POLÍCIA?  
TENHO UM SITE PARA ONDE  
AS PESSOAS ENVIAM PERGUNTAS...



## MÁQUINA DO TEMPO À MANEIRA DE NOVA IORQUE

**P:** Presumo que, quando viajamos no tempo, não saímos do mesmo local na superfície terrestre. Pelo menos, era assim que funcionava nos filmes do *Regresso ao Futuro*. Se é assim que as coisas funcionam, como seria recuar mil anos no tempo na Times Square em Nova Iorque? E dez mil anos? E cem mil anos? E um milhão de anos? E mil milhões de anos? E se viajássemos um milhão de anos para o futuro?

— **Mark Dettling**

---

### **Há 1000 anos**

Manhattan é habitada de forma contínua há três mil anos e terá sido colonizada por humanos há nove mil anos.

No século XVII, quando os europeus chegaram, a área era habitada pelo povo lenape<sup>6</sup>. Os lenape eram uma confederação pouco coesa de tribos que viviam no território hoje dividido entre os estados de Connecticut, Nova Iorque, Nova Jérсия e Delaware.

Há mil anos, a região seria provavelmente habitada por um aglomerado semelhante de tribos, mas tratando-se de pessoas que viveram meio milénio antes do contacto com os europeus. Eram tão distantes dos

---

<sup>6</sup> Também conhecidos como «delaware».



lenape do século XVII como os lenape do século XVII são distantes dos do nosso tempo.

Para ver como seria a Times Square antes de existir uma cidade no mesmo local, recorreremos a um projeto notável chamado *Welikia*, que cresceu a partir de um projeto mais pequeno chamado *Mannahatta*. O projeto *Welikia* construiu um mapa ecológico pormenorizado da paisagem de Nova Iorque como era quando os europeus chegaram.

O mapa interativo, disponível *online* em *welikia.org*, é um retrato fantástico de uma Nova Iorque diferente. Em 1609, a ilha de Manhattan integrava uma paisagem de colinas, pântanos, bosques, lagos e rios.

A Times Square de há mil anos assemelhar-se-ia ecologicamente à Times Square descrita pelo *Welikia*. Talvez se assemelhasse superficialmente às velhas florestas que ainda se encontram em alguns locais no Nordeste dos Estados Unidos. No entanto, haveria algumas diferenças importantes.

Haveria mais animais de grande porte há mil anos. As manchas isoladas de florestas do Nordeste estão maioritariamente livres de grandes predadores. Há alguns ursos, alguns lobos e coiotes e praticamente não existem pumas. (As populações de veados, por outro lado, explodiram, graças em parte à ausência de grandes predadores.)

As florestas de Nova Iorque há mil anos estariam repletas de castanheiros. Antes de uma praga ocorrida no início do século XX, as florestas do Leste da América do Norte eram compostas por 25% de castanheiros. Hoje, apenas existem os restos dos seus troncos cortados.

Estes restos podem ser encontrados nas florestas da Nova Inglaterra. Geram rebentos ocasionais, mas estes acabam por murchar quando a praga se instala. Algum dia, dentro de pouco tempo, o último destes troncos cortados morrerá.



Os lobos seriam comuns nas florestas, especialmente quando nos afastássemos da costa. Também seria possível encontrar pumas<sup>7,8,9,10</sup> e pombos-passageiros<sup>11</sup>.

Não haveria minhocas. Não existiam minhocas na Nova Inglaterra quando os colonos europeus chegaram. Para perceber o motivo da ausência de minhocas, daremos o nosso passo seguinte em direção ao passado.

### Há 10.000 anos

A terra emergia de um período de frio intenso há dez mil anos.

Os grandes mantos de gelo que tinham coberto a Nova Inglaterra recuaram. Há vinte e dois mil anos, o limite setentrional do gelo situava-se perto de Staten Island, mas, há dezoito mil anos, recuou para além de Yonkers<sup>12</sup>. Quando chegámos ao local, há dez mil anos, o gelo tinha recuado para norte da fronteira atual com o Canadá.

Os mantos de gelo reduziram a paisagem a rocha nua. Durante os dez mil anos seguintes, a vida voltou a avançar lentamente para norte. Algumas espécies migraram mais depressa que outras. Quando os europeus chegaram à Nova Inglaterra, as minhocas ainda não tinham regressado.

Com o recuo dos mantos de gelo, grandes fragmentos separavam-se e ficavam para trás.



<sup>7</sup> Também conhecidos como leões-da-montanha.

<sup>8</sup> Também conhecidos como onças-pardas.

<sup>9</sup> Também conhecidos como panteras.

<sup>10</sup> Também conhecidos como gatos-pintados.

<sup>11</sup> Ainda que talvez não fosse possível avistar as nuvens de triliões de pombos encontradas pelos colonos europeus. Charles C. Mann argumenta no livro *1491* que os bandos enormes vistos pelos colonos europeus poderiam ser sintoma de um ecossistema caótico perturbado pela chegada da varíola, das gramíneas e da abelha-europeia.

<sup>12</sup> Da localização atual de Yonkers. Era pouco provável que se chamasse «Yonkers» na altura porque «Yonkers» é um nome derivado do holandês para uma povoação que remonta ao final do século XVII. No entanto, há quem defenda que sempre existiu um local chamado «Yonkers», mais antigo que a humanidade e a própria Terra. Talvez seja só eu a defender isto, mas sempre fui muito franco nas minhas convicções.

Quando estes fragmentos derreteram, provocaram depressões no terreno a que chamamos «lagos glaciares». O lago Oakland, perto do extremo norte da Springfield Boulevard em Queens é um destes lagos glaciares. Os mantos de gelo também libertaram rochas que tinham arastado com a sua deslocação. Algumas destas rochas, a que chamamos «erráticas glaciares», podem ser vistas hoje no Central Park.



Por baixo do gelo, rios de água derretida fluíam com pressão elevada, depositando areia e gravilha pelo percurso. Estes depósitos, que subsistem em formações chamadas «eskers», decoram a paisagem das florestas que rodeiam a minha cidade natal, Boston. São responsáveis por uma variedade de configurações bizarras do solo, incluindo os únicos leitos de rio verticais com forma de U.



### Há 100.000 anos

O mundo há cem mil anos poderia parecer-se muito com o nosso.<sup>13</sup> Vi-

<sup>13</sup> Mas com menos placares publicitários.

vemos numa era de glaciações rápidas e pulsantes, mas há dez mil anos que o nosso clima se tem mantido estável<sup>14</sup> e quente.

Há cem anos, a Terra aproximava-se do fim de um período semelhante de estabilidade climática conhecido como «interglacial de Sangamon», que teria suportado o desenvolvimento de um ecossistema que nos seria familiar.

A geografia costeira seria completamente diferente. Staten Island, Long Island, Nantucket e Martha's Vineyard seriam aterros formados pelo avanço recente do gelo. Há cem mil anos, havia ilhas diferentes junto à costa.

Muitos dos animais de hoje viveriam nas florestas deste período. Aves, esquilos, veados, lobos, ursos-negros. Mas haveria alguns acréscimos dramáticos. Para nos debruçarmos sobre eles, voltamo-nos para o mistério da antilocapra.

A antilocapra moderna (também conhecida como antílope-americano) constitui um enigma. É um animal rápido. Muito mais rápido do que necessita de ser, na verdade. Consegue correr a quase noventa quilómetros por hora e manter essa velocidade durante longas distâncias. No entanto, os seus predadores mais rápidos, os lobos e os coiotes, nem chegam aos sessenta quilómetros por hora em *sprint*. Porque evoluiu a antilocapra para correr a esta velocidade?

Para responder à questão, teremos de pensar que o mundo em que a antilocapra evoluiu era muito mais perigoso que o nosso. Há cem mil anos, as florestas da América do Norte eram o habitat do *Canis dirus* (lobo-pré-histórico), do *Arctodus* (urso-de-cara-achata) e do *Smilodon fatalis* (tigre-dentes-de-sabre), animais que poderiam ser mais rápidos e letais que os predadores modernos. Todos eles se extinguiram durante as grandes extinções do quaternário, que ocorreram pouco depois da colonização do continente pelos primeiros humanos.<sup>15</sup>

Se recuarmos um pouco mais, encontraremos outro predador temível.

---

<sup>14</sup> Bom, já não. Acabámos com isso.

<sup>15</sup> Se alguém perguntar, foi coincidência.

### Há 1.000.000 de anos

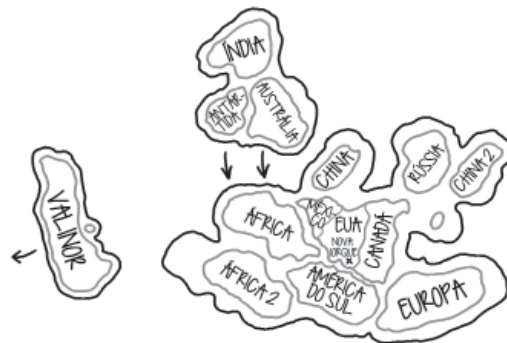
Um milhão de anos atrás, antes das glaciações mais recentes, o mundo era relativamente quente. Estávamos a meio do período quaternário. As grandes eras glaciais modernas tinham começado vários milhões de anos antes, mas verificou-se uma pausa no avanço e recuo dos glaciares e o clima manteve-se relativamente estável.

Os predadores que conhecemos antes, as criaturas de patas velozes que poderiam ter caçado a antilocapra, tinham a companhia de outro carnívoro aterrador: uma hiena de patas longas que se assemelhava ao lobo moderno. As hienas encontravam-se sobretudo em África e na Ásia, mas, quando o nível do mar desceu, uma espécie atravessou o Estreito de Bering e chegou à América do Norte. Por ser a única hiena a fazê-lo, foi batizada como *Chasmaporthetes*, que significa «a que viu o desfiladeiro».

A seguir, a pergunta do Mark faz-nos dar um salto maior no tempo.

### Há 1.000.000.000 de anos

Mil milhões de anos atrás, as placas continentais foram fundidas num grande supercontinente. Não se tratava do bem conhecido supercontinente Pangeia, mas sim do Rodínia, antecessor do Pangeia. Os registos geológicos não são muito claros, mas podemos supor que se assemelharia a isto:



No tempo do Rodínia, o manto rochoso que hoje existe por baixo de Manhattan ainda não se tinha formado, mas as rochas mais profundas da América do Norte já eram antigas. A parte do continente que hoje é Manhattan seria provavelmente uma região sem contacto com o mar ligada ao que hoje são Angola e a África do Sul.

Neste mundo ancestral, não havia plantas ou animais. Os oceanos estavam cheios de vida, mas era vida simples e unicelular. À superfície da água, flutuavam tapetes de algas azuis-esverdeadas.

Estas criaturas discretas são os assassinos mais mortíferos em toda a história da vida.

As algas azuis-esverdeadas, ou cianobactérias, foram os primeiros organismos a realizar a fotossíntese. Inspiravam dióxido de carbono e expiravam oxigénio. O oxigénio é um gás volátil. Faz o ferro enferrujar (oxidação) e faz a madeira arder (oxidação vigorosa). Quando as cianobactérias surgiram, o oxigénio que expiravam era tóxico para quase todas as outras formas de vida. A extinção em massa que daí resultou é conhecida como «catástrofe do oxigénio».

Depois de as cianobactérias encherem a atmosfera e a água da Terra com oxigénio tóxico, evoluíram criaturas que aproveitaram a natureza volátil do gás para desencadear novos processos biológicos. Descendemos destes primeiros respiradores de oxigénio.

Muitos pormenores desta história permanecem incertos. O mundo há mil milhões de anos é difícil de reconstruir. Mas a pergunta do Mark leva-nos em seguida para um domínio ainda mais incerto: o futuro.

### **Daqui a 1.000.000 anos**

Os humanos acabarão por se extinguir. Ninguém sabe quando<sup>16</sup>, mas nada vive para sempre. Talvez viajemos pelo espaço e vivamos biliões ou triliões de anos. Talvez a civilização entre em colapso e sucumbamos todos à doença e à fome, com os últimos de nós sendo comidos por gatos. Talvez sejamos todos mortos por nanorrobôs horas depois de esta frase ser lida. É impossível saber.

Um milhão de anos é muito tempo. É um período de tempo várias vezes superior ao total da existência do *Homo sapiens* e cem vezes mais longo que a história da linguagem escrita. Será razoável presumir que, qualquer que seja o rumo da história da humanidade, terá passado da sua fase atual daqui a um milhão de anos.

Sem nós, a geologia da Terra continuará a agir. Os ventos, a chuva e as tempestades de areia dissolverão e sepultarão os artefactos da nossa civilização. As mudanças climáticas provocadas pelos humanos talvez

---

<sup>16</sup> Se souberem, enviem-me um *email*.

atrasem o início da glaciação seguinte, mas o ciclo de eras glaciais não terminou. Os glaciares acabarão por voltar a avançar. Daqui a um milhão de anos, restarão poucos artefactos humanos.

A nossa relíquia mais duradoura será provavelmente a camada de plástico que depositámos sobre o planeta. Ao extrairmos petróleo, processando-o em polímeros de grande durabilidade que espalhámos por todo o planeta, deixámos uma pegada que poderá perdurar para além de todas as nossas outras criações.

O nosso plástico será despedaçado e sepultado e talvez alguns micróbios aprendam a digeri-lo, mas é provável que, daqui a um milhão de anos, uma camada de hidrocarbonetos processados (fragmentos transformados dos nossos frascos de champô e sacos de compras) funcione como um monumento químico à civilização.

### **O futuro distante**

O Sol torna-se gradualmente mais brilhante. Durante três mil milhões de anos, um sistema complexo de ciclos de retorno manteve a temperatura da Terra relativamente estável enquanto a temperatura do Sol vai aumentando.

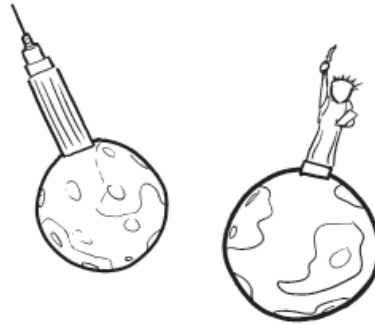
Daqui a mil milhões de anos, estes ciclos de retorno ter-se-ão esgotado. Os nossos oceanos, que nutriram a vida e a mantiveram fresca, tornar-se-ão os piores inimigos da vida. O Sol tê-los-á evaporado, rodeando o planeta com um manto denso de vapor de água e provocando um efeito de estufa descontrolado. Daqui a mil milhões de anos, a Terra tornar-se-á um segundo planeta Vénus.

Com o aquecimento do planeta, poderemos perder por completo o vapor de água, passando a existir no seu lugar uma atmosfera de vapor de rocha, quando a crosta terrestre começar a ferver. Por fim, após vários milhares de milhões de anos, o planeta será consumido pela expansão do Sol.

A Terra será incinerada e muitas das moléculas que formaram Times Square serão projetadas para um Sol moribundo. Estas nuvens de pó vaguearão pelo espaço, talvez colidindo e formando novas estrelas e planetas.

Se os humanos conseguirem fugir do sistema solar e sobreviverem ao Sol, os nossos descendentes poderão um dia viver nesses planetas.

Átomos da Times Square, filtrados pelo núcleo do Sol, formarão os nossos novos corpos.



Um dia, ou estaremos todos mortos ou seremos todos nova-iorquinos.



## ALMAS GÉMEAS

**P:** E se todos tivessem mesmo uma alma gémea única, uma pessoa ao acaso algures no mundo?

— Benjamin Staffin

---

**R: QUE PESADELO SERIA.**

Existem muitos problemas no conceito de alma gémea única. Como referiu Tim Minchin na canção *If I didn't Have You*:

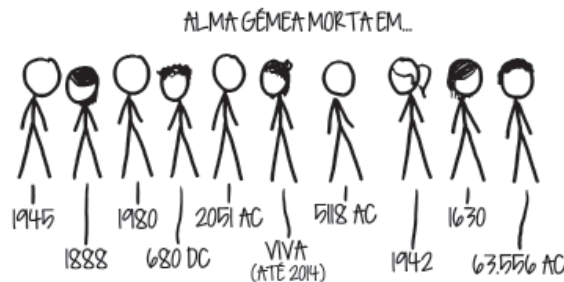
«O teu amor é único num milhão de amores;  
Não poderia comprá-lo por qualquer preço.  
Mas, dos 999999 outros amores,  
A estatística diz que alguns seriam igualmente bons.»

Mas e se tivéssemos uma alma gémea perfeita aleatoriamente atribuída e não pudéssemos ser felizes com mais ninguém? Conseguiríamos encontrar-nos?

Suponhamos que a alma gémea seria escolhida à nascença. Não saberíamos nada sobre a sua identidade ou localização, mas, como no clichê romântico, reconhecê-la-íamos no momento em que cruzássemos olhares.

Isto levanta algumas questões logo à partida. Para começar, a nossa alma gémea continuaria viva? Passaram cerca de cem mil milhões de humanos pelo mundo, mas apenas sete mil milhões estão vivos atualmente (o que dá à humanidade uma taxa de mortalidade de 93%). Se fôssemos

todos emparelhados de forma aleatória, 90% das nossas almas gémeas estariam mortas há muito.



Parece horrível, mas vai piorar. Um exercício de lógica simples demonstra que não podemos limitar-nos aos humanos do passado. Temos de incluir também um número desconhecido de humanos do futuro. Se a nossa alma gémea estiver no passado distante, terá de ser possível que as almas gémeas se situem também no futuro distante. Afinal, a alma gémea da nossa alma gémea estará no futuro.

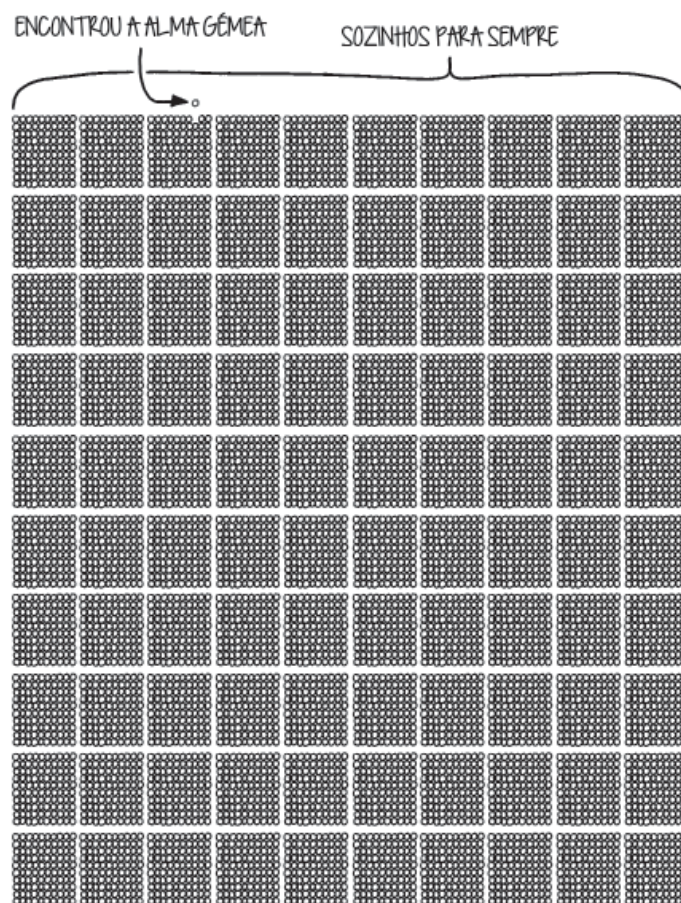
Suponhamos que a nossa alma gémea está viva ao mesmo tempo que nós. Além disso, para impedir as coisas de ficarem esquisitas, imaginemos que terá uma idade próxima da nossa. (Isto será mais restrito que a fórmula padrão da esquisitice nas diferenças de idade<sup>17</sup>, mas, se supusermos que alguém com trinta anos poderá ser a alma gémea de alguém com quarenta, a regra da esquisitice será violada se se tiverem conhecido acidentalmente quinze anos antes.) Com a restrição da idade aproximada, a maioria de nós teria cerca de quinhentos milhões de parceiros potenciais.

E quanto ao género e à orientação sexual? E à cultura? E à língua? Podíamos continuar a usar fatores demográficos para tentar restringir ainda mais as coisas, mas afastar-nos-íamos do conceito de alma gémea aleatória. No nosso cenário, não saberíamos nada acerca da nossa alma gémea até a olharmos nos olhos. Todos teriam apenas uma orientação: encontrar a sua alma gémea.

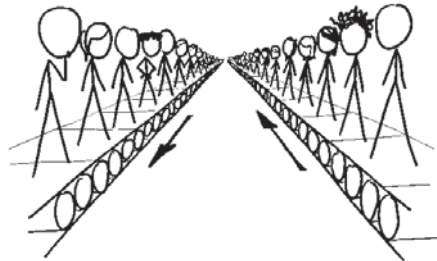
As probabilidades de encontrarmos a nossa alma gémea são incrivelmente reduzidas. O número de estranhos com quem cruzamos olhares todos os dias pode variar entre quase nenhum (para reclusos e habitantes de cidades pequenas) e muitos milhares (um polícia em Times

<sup>17</sup> *xkcd*, *Dating Pools*, <http://xkcd.com/314>.

Square), mas suponhamos que cruzamos olhares com uma média de algumas dúzias de desconhecidos por dia. (Sou muito introvertido e, para mim, será uma média muito otimista.) Se 10% destes estiverem perto da nossa idade, seriam cerca de cinquenta mil pessoas numa vida. Porque temos quinhentos milhões de almas gémeas potenciais, isso significaria que o verdadeiro amor seria encontrado apenas numa vida em cada dez mil.



E com a possibilidade de morrer sozinho tão presente, a sociedade poderia reestruturar-se para tentar permitir o máximo de contacto visual possível. Podíamos criar enormes passadeiras rolantes para fazer as pessoas desfilarem umas diante das outras.



Mas, se o efeito do contacto visual funcionasse também através de *webcams*, poderíamos usar uma versão modificada do *ChatRoulette*. Se todos usassem o serviço durante oito horas por dia, sete dias por semana e se demorassem alguns segundos a decidir se alguém seria a sua alma gémea, este sistema poderia, em teoria, juntar toda a gente com a sua alma gémea no espaço de duas décadas. (Calculei alguns sistemas simples para determinar a rapidez com que as pessoas formariam casais e sairiam das fileiras de solteiros. Para determinar os cálculos de um emparelhamento específico, será melhor começar por olhar para os problemas de fuga à norma.)

... POIS. OUTRO RABO.



No mundo real, muita gente sente dificuldades para encontrar tempo na sua vida para o amor. Poucos poderiam dedicar-lhe duas décadas. Talvez só adolescentes ricos pudessem dar-se ao luxo de usar o *Alma-GémeaRoulette*. Infelizmente para os proverbiais 1%, a maioria das suas almas gémeas encontrar-se-ia nos restantes 99%. Se apenas 1% destes afortunados usassem este serviço, 1% desses 1% encontrariam a sua alma gémea usando este sistema. Um em cada dez mil.

Os restantes 99% dos 1% originais<sup>18</sup> teriam um incentivo para atrair mais pessoas para o sistema. Poderiam patrocinar projetos de caridade que levassem computadores ao resto do mundo. Algo que misturasse a iniciativa *One Laptop per Child* com o *OKCupid*. Carreiras como «caixa de supermercado» ou «polícia em Times Square» tornar-se-iam muito cobiçadas pelo número elevado de contactos visuais. As pessoas

<sup>18</sup> «Somos os zero vírgula noventa e nove por cento!»

afluiriam às cidades e locais de grande concentração para encontrar o amor. Tal como fazem hoje.

Mas, mesmo que muitos de nós passassem anos a usar o *AlmaGémeaRoulette*, que outros conseguissem ter empregos que permitissem contacto visual constante com desconhecidos e que os restantes confiassem na sorte, apenas uma pequena minoria encontraria alguma vez o verdadeiro amor. Os restantes teriam azar.

Com toda esta pressão e stress, alguns fingiriam. Quereriam juntar-se ao clube e juntar-se-iam a outra pessoa solitária para fingir um encontro de almas gémeas. Casariam, esconderiam os problemas na sua relação e tentariam mostrar uma cara feliz aos seus amigos e familiares.

Um mundo de almas gémeas aleatórias seria um mundo solitário. Esperamos que não seja esse o mundo em que vivemos.

## PONTEIRO LASER

**P:** Se toda a gente na Terra apontasse à Lua um ponteiro laser ao mesmo tempo, ela mudaria de cor?

— **Peter Lipowicz**

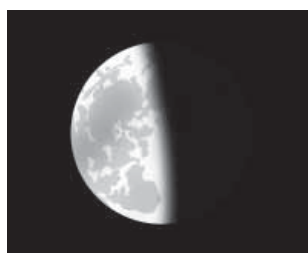
---

**R: NÃO SE USÁSSEMOS** ponteiros laser normais.

A primeira coisa a considerar é que nem todos conseguirão ver a Lua ao mesmo tempo. Poderíamos reunir toda a gente no mesmo sítio, mas escolhamos um momento em que a Lua fosse visível para tantas pessoas quanto possível. Porque cerca de 75% da população mundial vive entre 0° E e 120° E, deveríamos tentar isto quando a Lua estivesse algures sobre o Mar Árábico.

Poderíamos tentar iluminar uma Lua nova ou uma Lua cheia. A Lua nova é mais escura, tornando mais fácil ver os nossos lasers. Mas é também um alvo mais difícil porque é visível sobretudo durante o dia, esbatendo o efeito desejado.

Escolhamos um quarto para podermos comparar o efeito dos nossos lasers nos lados sombrio e iluminado.



*Eis o nosso alvo.*

O ponteiro laser vermelho comum terá uma potência aproximada de 5 miliwatts e, se for de boa qualidade, produzirá um feixe suficientemen-

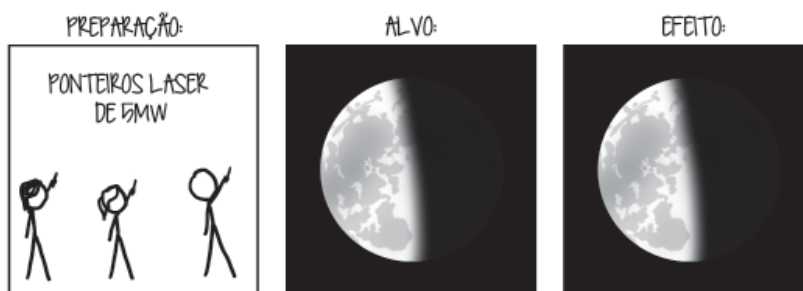
te compacto para alcançar a Lua, apesar de se espalhar por uma área ampla da superfície quando lá chegasse. A atmosfera distorceria um pouco o feixe do laser e absorveria uma fração, mas a maior parte da luz chegaria ao destino.



Suponhamos que todos conseguissem ter pontaria suficientemente firme para atingir a Lua, mas não mais que isso, e que a luz se espalharia de forma equilibrada pela superfície.

Meia hora depois da meia-noite (tempo médio de Greenwich), todos fazem pontaria e pressionam o botão.

Eis o que acontece:



Que decepção.

Mas faz sentido. A luz solar atinge a Lua com uma intensidade ligeiramente superior a um quilowatt de energia por metro quadrado. Porque a área transversal da Lua tem cerca de dez metros quadrados, será banhada por cerca de dez watts de luz solar (dez petawatts ou dois megawatts por pessoa), superando em muito os nossos ponteiros laser de cinco miliwatts. Cada uma das partes deste sistema possui variáveis, mas nada que altere a equação básica.

E SE TENTÁSSEMOS COM  
UMA POTÊNCIA MAIOR?

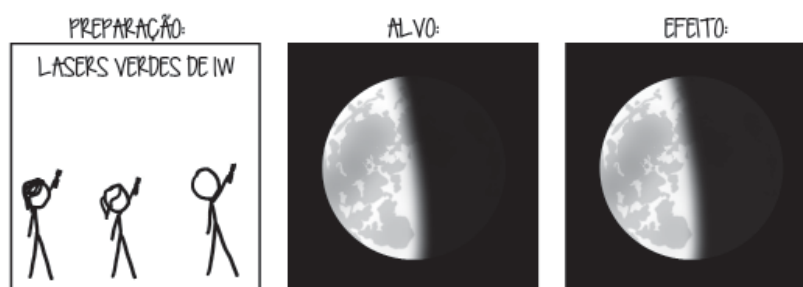


Um laser de um watt é uma coisa muito perigosa. Além de ter potência suficiente para cegar alguém, conseguirá queimar pele e incendiar objetos. Obviamente, não é legal a sua venda nos Estados Unidos.

Estou a brincar! É possível comprar um por trezentos dólares. Basta fazer uma pesquisa por «laser portátil de 1 watt».

Imaginemos que gastamos os dois biliões de dólares necessários para comprar lasers verdes de um watt para toda a gente. (Nota para candidatos presidenciais: esta política poderá conquistar o meu voto.) Além de ser mais poderosa, a luz do laser verde estará mais próxima do centro do espectro visível. O olho será mais sensível a ela e parecerá mais luminosa.

Eis o resultado:



Bolas.

Os ponteiros laser que usamos produzem cerca de cento e cinquenta lúmenes de luz (mais do que a maioria das lanternas) num feixe com uma largura de cinco minutos de arco. Iluminarão a superfície da Lua com cerca de meio lux de iluminação, comparado com os cerca de cento e trinta mil lux do Sol. (Mesmo que os mirássemos todos de forma perfeita, conseguiríamos apenas meia dúzia de lux em 10% da face da Lua.)

Por comparação, a Lua cheia ilumina a superfície da Terra com cerca de um lux de iluminação, o que significa que não apenas os nossos lasers seriam demasiado fracos para ver da Terra como, se estivéssemos na Lua, a luz dos lasers na paisagem seria mais ténue do que o luar na Terra.



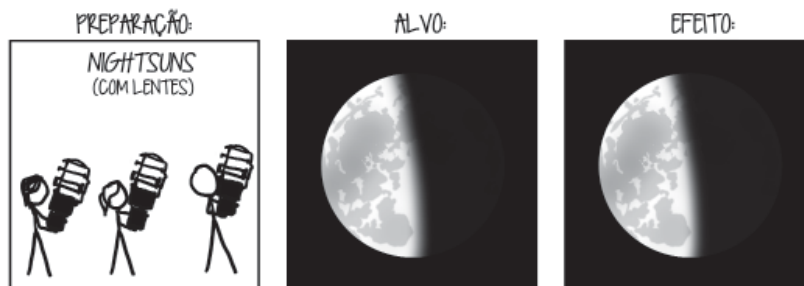
E SE TENTÁSSEMOS COM  
UMA POTÊNCIA MAIOR?



Com os avanços nas baterias de lítio e na tecnologia LED ao longo dos últimos dez anos, o mercado de lanternas de elevado desempenho explodiu. Mas é claro que as lanternas não servirão. Vamos passar por cima desta parte e dar um *Nightsun* a toda a gente.

Talvez não reconheçam o nome, mas é muito provável que já os tenham visto em ação. São os holofotes montados nos helicópteros da polícia e da guarda costeira. Com uma luz na ordem dos cinquenta mil lúmenes, conseguem iluminar um pedaço de chão noturno como se fosse dia.

O feixe de luz tem uma amplitude de vários graus e precisamos de lentes de foco para o reduzir ao meio grau necessário para atingir a Lua.



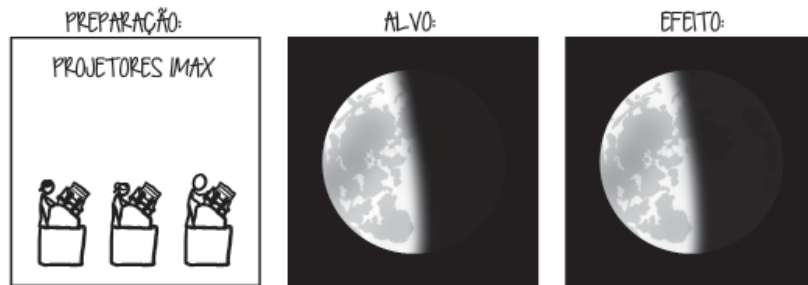
É difícil ver, mas estamos a progredir! O feixe gera vinte lux de iluminação, superando a luz ambiente do céu noturno por dois valores! No entanto, é muito difícil de ver e não afetou a metade iluminada.

E SE TENTÁSSEMOS COM  
UMA POTÊNCIA MAIOR?



Vamos trocar cada *Nightsun* por um projetor *IMAX*, um par de lâm-

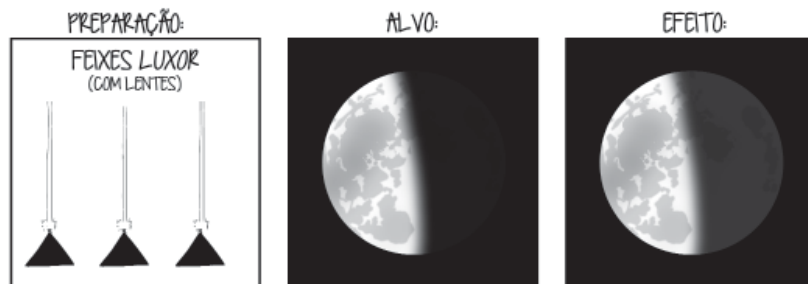
padas com refrigeração líquida de trinta mil watts com luminosidade combinada acima do milhão de lúmenes.



Continua a quase não se notar.

No topo do Hotel Luxor em Las Vegas, está instalado o holofote mais poderoso do planeta. Vamos dar um destes a toda a gente.

Ah, e acrescentemos um sistema de lentes para que o feixe de luz se concentre na Lua.



Não há dúvidas de que a nossa luz será visível. Atingimos o objetivo!  
Bom trabalho, equipa.

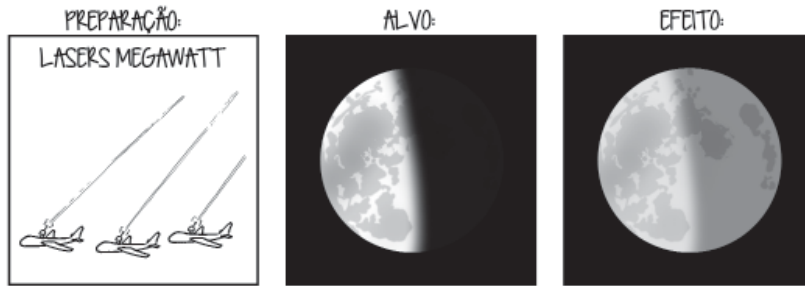
E SE TENTÁSSEMOS COM  
UMA POTÊNCIA MAIOR?



Bom...

O Departamento de Defesa desenvolveu lasers com uma potência que atinge megawatts concebidos para destruir mísseis em pleno voo.

O *Boeing YAL-I* era um laser químico de classe megawatt alimentado a oxigênio iodizado montado num 747. Era um laser infravermelho e não seria visível a olho nu, mas podemos imaginar um laser de luz visível com potência semelhante.



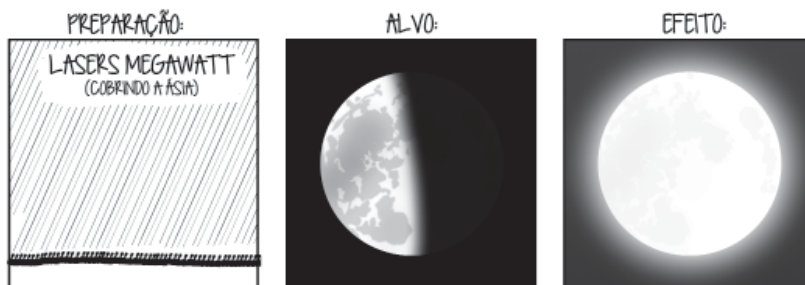
Finalmente, conseguimos produzir luz equivalente à do Sol!

Também consumimos cinco petawatts de energia, o que duplicaria o consumo médio de eletricidade do mundo inteiro.

E SE TENTÁSSEMOS COM  
UMA POTÊNCIA MAIOR?



Está bem. Vamos montar um laser megawatt em cada metro quadrado da superfície da Ásia. Alimentar estes cinquenta trilhões de lasers esgotaria as reservas petrolíferas da Terra em cerca de dois minutos, mas, durante estes dois minutos, a Lua ficaria com este aspeto:



A Lua brilharia tanto como o Sol ao meio-dia e, quando os dois minutos chegassem ao fim, o regolito lunar continuaria a brilhar.

E SE TENTÁSSEMOS COM  
UMA POTÊNCIA MAIOR?



Está bem. Vamos afastar-nos ainda mais da esfera da plausibilidade.

O laser mais poderoso do planeta é o feixe de contenção no Centro Nacional de Ignição, um laboratório que pesquisa a fusão. É um laser ultravioleta com uma potência de quinhentos terawatts. No entanto, dispara apenas feixes que duram alguns nanossegundos e o total de energia gerado equivalerá a cerca de um quarto de chávena de gasolina.

Imaginemos que conseguimos encontrar uma forma de o disparar de forma contínua, dando um a toda a gente e apontando-os todos à Lua. Infelizmente, o fluxo de energia do laser transformaria a atmosfera em plasma, incendiando imediatamente a superfície da Terra e matando-nos a todos. Mas imaginemos que os lasers conseguem passar a atmosfera sem provocar reação.

Nestas circunstâncias, a Terra incendiar-se-ia de igual forma. A luz refletida pela Lua seria quatro mil vezes mais intensa que a do Sol ao meio-dia. O luar tornar-se-ia suficientemente intenso para ferver os oceanos em menos de um ano.

Mas esqueçamos a Terra. Que aconteceria à Lua?

O laser conteria pressão de radiação suficiente para acelerar a força gravitacional da Lua em cerca de um décimo de milionésimo. Esta aceleração não seria perceptível a curto prazo, mas, ao longo dos anos, tornar-se-ia suficiente para a empurrar para fora da órbita terrestre...

... se a pressão de radiação fosse a única força envolvida.

Quarenta megajoules de energia são suficientes para vaporizar um quilo de rocha. Supondo que as rochas lunares têm uma densidade média de cerca de três quilos por litro, os lasers gerariam energia suficiente para vaporizar quatro metros de solo rochoso lunar por segundo:

$$\frac{5 \text{ mil milhões de pessoas} \times 500 \frac{\text{terawatts}}{\text{pessoa}}}{\pi \times \text{raio da Lua}^2} \times 20 \frac{\text{megajoules}}{\text{quilograma}} \times 3 \frac{\text{quilogramas}}{\text{litro}} \approx 4 \frac{\text{metros}}{\text{segundo}}$$

No entanto, a rocha lunar não se evaporaria com esta velocidade por uma razão que se revelará muito importante.

Quando um fragmento de rocha é vaporizado, não se limita a desaparecer. A superfície da Lua transformar-se-ia em plasma, mas esse plasma continuaria a bloquear o trajeto do feixe.

O nosso laser continuaria a concentrar cada vez mais energia no plasma e o plasma não pararia de aquecer. As partículas embateriam umas contra as outras, embateriam contra a superfície da Lua e acabariam por ser projetadas para o espaço a grande velocidade.

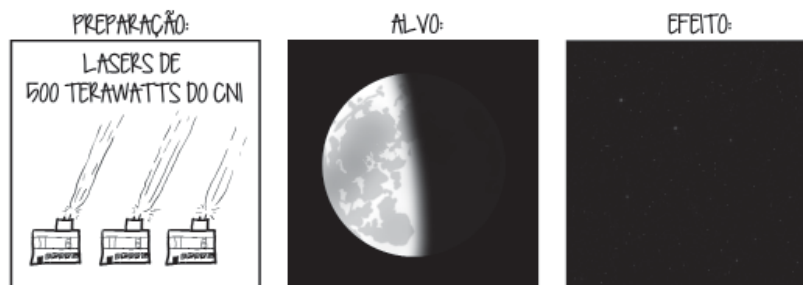
Este fluxo de matéria transformaria toda a superfície da Lua num motor de foguetão de eficiência surpreendente. Usar lasers para projetar materiais de superfície desta forma é um processo conhecido como ablação por laser e é um método promissor de propulsão espacial.

A Lua é enorme, mas, de forma lenta e segura, o jato de plasma rochoso começaria a afastá-la da Terra. (O jato varreria também a superfície terrestre e destruiria os lasers, mas finjamos que são invulneráveis.) Além disto, o plasma corroeria a superfície lunar numa interação complexa que é difícil de calcular.

Mas, se supusermos que as partículas no plasma serão expelidas a uma velocidade média de quinhentos quilómetros por segundo, a Lua precisará de alguns meses para ser empurrada para fora do alcance dos nossos lasers. Manteria a maior parte da sua massa, mas escaparia à gravidade da Terra e iniciaria uma órbita irregular em torno do Sol.

Tecnicamente, a Lua tornar-se-ia um novo planeta, segundo a nova definição de planeta da União Astronómica Internacional. Porque a sua nova órbita se cruzaria com a da Terra, seria considerada um planeta anão como Plutão. Esta órbita cruzada com a da Terra provocaria uma perturbação orbital periódica imprevisível. Acabaria por ser lançada em direção ao Sol, projetada para fora do sistema solar ou embateria contra um dos planetas, provavelmente contra o nosso. Acho que todos concordaremos que, se assim fosse, seria merecido.

Resultado final:



E, finalmente, a potência seria suficiente.

## PAREDE PERIÓDICA

**P:** Que aconteceria se alguém construísse uma tabela periódica com tijolos cúbicos em que cada tijolo fosse formado pelo elemento correspondente?  
— **Andy Connolly**

---

**R: EXISTEM PESSOAS QUE** colecionam elementos. Estes colecionadores tentam recolher amostras físicas de tantos elementos quantos conseguirem, arrumando-os em expositores em forma de tabela periódica.<sup>19</sup>

Dos cento e dezoito elementos, trinta (como o hélio, o carbono, o alumínio e o ferro) podem ser comprados nas lojas em forma pura. Algumas dúzias podem ser obtidas a partir da desmontagem de coisas (existem amostras minúsculas de amerício nos detetores de fumo). Outros podem ser encomendados *online*.

É possível obter amostras de cerca de oitenta elementos. Noventa, se o colecionador estiver disposto a pôr a sua saúde em perigo ou aceitar correr risco de prisão. Os restantes são demasiado radioativos ou efémeros para recolher mais do que alguns átomos de cada vez.

Mas e se fosse possível?

A tabela periódica tem sete linhas.<sup>20</sup>

---

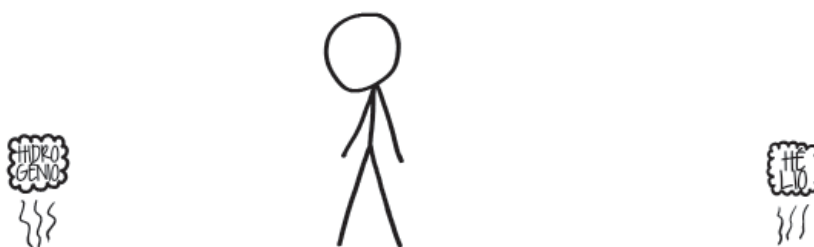
<sup>19</sup> Pensem nos elementos como Pokémon perigosos, radioativos e de vida curta.

<sup>20</sup> Poderá ter sido acrescentada uma oitava linha quando ler isto. E, se estiver a ler isto no ano 2038, a tabela periódica terá dez linhas mas os robôs que nos governam proibirão que tal seja referido ou discutido.

HIDRO GÊNIO																	HÉ LIO				
LÍ TIO	BERÍ LIO															BORO	CAR BONO	NITRO GÊNIO	OXI GÊNIO	FLÓ OR	NEON
SÓ DIO	MAG NÉSIO															ALU MÍNO	SILÍ CIO	FÓS FORO	ENXO FRE	CLO RO	AR GON
POTÁ SSIO	CÁLCIO	ESCAN DIO	TITÂNIO	VANÁ DIO	CRÓ MO	MAN GANÉS	FERRO	COBAL TO	NÍ QUEL	CO BRE	ZINCO	CÁ LIO	GER MÂNIO	ARSÊ NIO	SELÊNIO	BRO MO	CRÍP TON				
RUBÍ DIO	ESTR ÔNCIO	ÍTRIO	ZIRCÔNIO	NÍOBIO	MOLIB DÊNIO	TEC NÉCIO	RUTÉ NIO	RÓ DIO	PALÁ DIO	PRA TA	CÁD MIO	ÍNDIO	ESTA NHO	ANTI MÔNIO	TELÚ RIO	IODO	XÊ NON				
CÉSIO	BÁRIO		HÁF NIO	TÂN TÁLO	TUNGSTÊNIO	RÊNIO	ÓSMIO	ÍRÍDIO	PLA TINA	OURO	MER CÚRIO	TÁ LIO	CHUM BO	BIS MUTO	POLÓ NIO	ÁSTA TO	RÁ DON				
FRÂN CIO	RÁ DIO		RUTHER FÓRDIO	DÓB NIO	SEA BÓRGIO	BÓH RIO	HÁS SIO	MEIT NÉRIO	DARMS TÁCIO	ROENT GÊNIO	COPER NÍCIO	(II <sup>F</sup> )	FLE RÓVIO	(II <sup>F</sup> )	LIVER MÓRIO	(II <sup>F</sup> )	(II <sup>B</sup> )				
			LAN TÂNIO	CÉRIO	PRASE ODÍMIO	NEODÍMIO	PRO MÉCIO	SAMÁ RIO	EURÓ PÍO	GADO LÍNO	TÉR BIO	DISPRO SÍO	HÓL MÍO	ÉRBIO	TÚ LÍO	ÍTÉR BIO	LUTÉ CIO				
			ACTÍ NIO	TÓRIO	PROTA CTÍNIO	URÂN IO	NEP TÚNIO	PLU TÓNIO	AME RÍCIO	CÚRIO	BER QUELÍO	CALI FÓRNIO	EINS TÊNIO	FÉR MIO	MENDE LÉVIO	NOBÉ LÍO	LAU RÊNCIO				

- É possível colocar as duas linhas de cima uma sobre a outra sem grandes problemas.
- A terceira linha faria o construtor da parede morrer queimado.
- A quarta linha mataria o construtor com fumo tóxico.
- A quinta linha faria tudo o que acima se disse e TAMBÉM contaminaria o construtor com uma dose ligeira de radiação.
- A sexta linha explodiria violentamente, destruindo o edifício em que a parede se encontrasse numa nuvem de fogo e pó radioativo e venenoso.
- Não tentem construir a sétima linha.

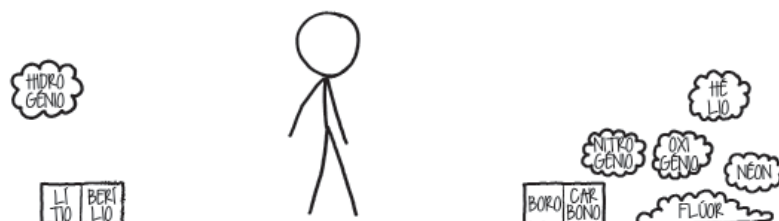
Começemos do topo. A primeira linha é simples e aborrecida.



O cubo de hidrogénio subiria e acabaria por se dispersar, como um balão mas sem balão. O mesmo se aplicaria ao hélio.

A segunda linha é mais complicada.





O lítio oxidaria imediatamente. O berílio é bastante tóxico e seria melhor manuseá-lo com cuidado e impedir que lançasse pó para o ar.

O oxigénio e o nitrogénio vagueariam, dispersando-se aos poucos. O néon flutuaria para longe.<sup>21</sup>

O gás amarelo pálido do flúor alastraria junto ao chão. O flúor é o elemento mais reativo e corrosivo da tabela periódica. Quase todas as substâncias expostas a flúor puro entram imediatamente em combustão.

Falei com o químico orgânico Derek Lowe acerca deste cenário.<sup>22</sup> Disse-me que o flúor não reagiria com o néon e «manteria uma espécie de trégua armada com o cloro, mas tudo o resto... bolas». O alastramento do flúor provocaria problemas também com as linhas de baixo e, se entrasse em contacto com humidade, formaria ácido fluorídrico corrosivo.

Quem o inspirasse, mesmo em quantidades diminutas, danificaria com gravidade ou destruiria o nariz, os pulmões, a boca, os olhos e, por fim, o resto do corpo. A necessidade de uma máscara de gás é óbvia. E mantenham presente que o flúor corrói muitos materiais de que a máscara poderá ser fabricada, o que significa que será preferível testá-la antes. Divirtam-se!

Sigamos para a terceira linha!

<sup>21</sup> Supondo que estariam em forma diatómica (por exemplo: O<sub>2</sub> e N<sub>2</sub>). Se os cubos estiverem na forma de átomos isolados, combinar-se-ão imediatamente, atingindo temperaturas de milhares de graus durante o processo.

<sup>22</sup> Lowe é o autor de *In the Pipeline*, um excelente blogue de pesquisa farmacêutica.



Metade destes dados vêm do CRC Handbook of Chemistry and Physics e a outra metade vem do Look Around You.

O maior problema nesta linha será o fósforo. O fósforo puro ocorre em formas variadas. O fósforo vermelho pode ser manuseado com relativa segurança. O fósforo branco entra em combustão por contacto com o ar. Gera chamas intensas e difíceis de extinguir e, além disto, é muito venenoso.<sup>23</sup>

O enxofre não causaria problemas em circunstâncias normais. Na pior das hipóteses, cheiraria mal. No entanto, o nosso enxofre estaria entalado entre fósforo em chamas à esquerda... e o flúor e o cloro à direita. Quando exposto a gás fluorídrico puro, o enxofre, como muitas outras substâncias, incendeia-se.

O árgon inerte é mais pesado que o ar. Alastraria até cobrir o chão. Não se preocupem com o árgon. Terão problemas maiores.

O incêndio produziria todo o tipo de químicos assustadores com nomes como hexafluoreto de enxofre. Se a construção da parede fosse feita dentro de casa, o construtor asfixiaria com o fumo tóxico e a casa poderia ser devorada pelas chamas.

E ainda só vamos na terceira linha. Passemos à quarta!



<sup>23</sup> Uma propriedade que motivou o seu uso controverso em projéteis de artilharia incendiários.

«Arsénio» é assustador. E há um bom motivo para isso. É tóxico para praticamente todas as formas de vida multicelulares.

Por vezes, este tipo de pânico acerca de químicos assustadores é desproporcionado. Existem vestígios naturais de arsénio em toda a nossa comida e água e não nos causam problemas. Mas, nesta ocasião, será muito diferente.

O fósforo em chamas (a que agora se junta o potássio em chamas, igualmente suscetível de entrar em combustão espontânea) poderá incendiar o arsénio, libertando grandes quantidades de trióxido de arsénio, uma substância muito tóxica. Será melhor não a inspirar.

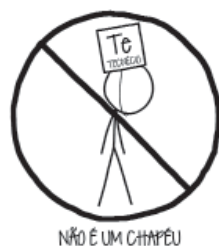
Esta linha produziria também odores terríveis. O selénio e o bromo entrariam em reação vigorosa e, segundo Lowe, o selénio em chamas «fará o enxofre cheirar a *Chanel*».

Se o alumínio sobrevivesse às chamas, acontecer-lhe-ia uma coisa estranha. O gálio fundido por baixo ensoparia o alumínio, perturbando a sua estrutura e tornando-o macio e frágil como papel molhado.<sup>24</sup>

O enxofre em chamas alcançaria o bromo. O bromo é líquido à temperatura ambiente, uma propriedade que partilha com apenas outro elemento: o mercúrio. Além disso, é bastante desagradável. A quantidade de compostos tóxicos produzidos pelo incêndio seria incalculavelmente grande neste ponto. No entanto, se alguém fizesse a experiência a partir de uma distância segura, poderia sobreviver.

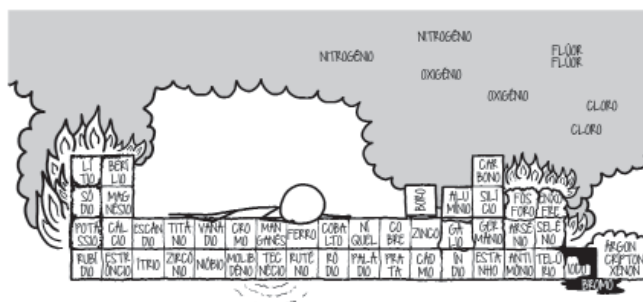
A quinta linha contém uma coisa interessante: tecnécio-99, o nosso primeiro tijolo radioativo.

O tecnécio é o elemento com o número mais baixo sem isótopos estáveis. A dose de um cubo de um litro deste metal não seria suficiente para matar na nossa experiência, mas, mesmo assim, será substancial. Quem passasse o dia a usá-lo como chapéu ou quem inspirasse as suas partículas morreria sem qualquer dúvida.

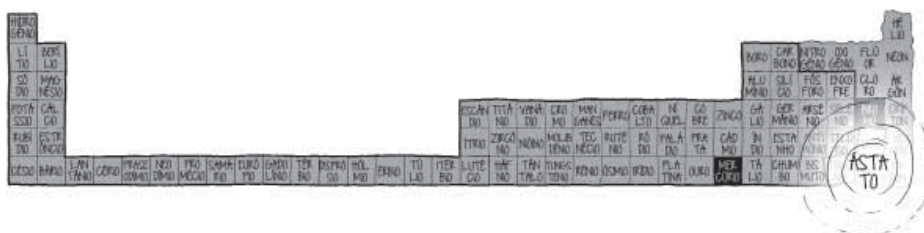


<sup>24</sup> Procurem «*gallium infiltration*» no *YouTube* para ver como isto é estranho.

Pondo o tecnécio de parte, a quinta linha seria muito parecida com a quarta.



Passemos para a sexta linha! Por mais cuidadoso que fosse o construtor, a sexta linha matá-lo-ia.



*Esta versão da tabela periódica é um pouco mais larga do que poderão estar habituados a ver porque inserimos os elementos lantanídeos e actinídeos nas linhas seis e sete. (Normalmente, estes elementos são separados da tabela principal para evitar que fique demasiado larga.)*

A sexta linha da tabela periódica contém vários elementos radioativos, incluindo o promécio, o polónio<sup>25</sup>, o ástato e o rádon. O ástato é o mau.<sup>26</sup>

Não sabemos que aspeto tem o ástato porque, como diz Lowe, «é uma substância que se recusa a existir». É tão radioativo (com meia-vida medida em horas) que qualquer pedaço de grande dimensão seria rapidamente vaporizado pelo seu próprio calor. Os químicos suspeitam que terá uma superfície negra, mas ninguém sabe ao certo.

Não há nenhuma ficha de segurança para o manuseio do ástato. Se houvesse, seria a palavra «NÃO» repetida uma e outra vez e escrita em sangue chamuscado.

<sup>25</sup> Em 2006, foi fabricado um guarda-chuva com vestígios de polónio-210 para assassinar o antigo agente do KGB Alexander Litvinenko.

<sup>26</sup> E o rádon é o giro.

O nosso tijolo conteria, por tempo breve, mais ástato do que alguma vez foi sintetizado. Digo «por tempo breve» porque se transformaria imediatamente numa coluna de gás sobreaquecido. O calor seria suficiente para provocar queimaduras de terceiro grau a quem estivesse por perto e o edifício desmoronar-se-ia. A nuvem de gás quente erguer-se-ia rapidamente em direção ao céu, projetando calor e radiação.

A explosão teria o tamanho certo para maximizar a quantidade de papelada que o laboratório responsável teria de preencher. Se fosse mais pequena, talvez pudesse ser encoberta. Se fosse maior, não restaria ninguém na cidade para receber os papéis preenchidos.

Pó e destroços cobertos com ástato, polónio e outras substâncias radioativas cairiam do céu como chuva, tornando a área envolvente completamente inabitável dependendo da direção de onde soprasse o vento.

Os níveis de radiação seriam incrivelmente elevados. Demoramos algumas centenas de milissegundos para pestanejar e ficaríamos expostos a uma dose letal de radiação num piscar de olhos literal.

Morreríamos de algo a que poderemos chamar «envenenamento radioativo extremamente agudo». Ou seja, assariámos.

A sétima linha seria muito pior.

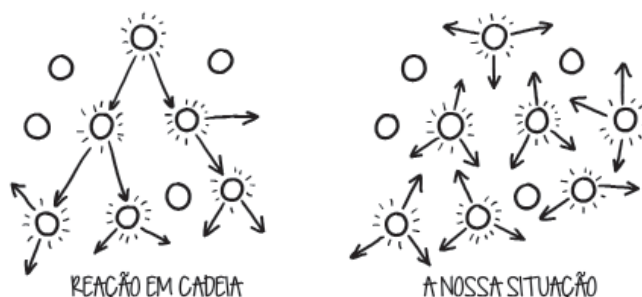
ELEMENTOS TRANSURÂNICOS (MAUS)

Existem vários elementos estranhos no fundo da tabela periódica conhecidos como «elementos transurânicos». Durante muito tempo, muitos deles tinham nomes provisórios como «ununúncio» e, aos poucos, foram recebendo nomes permanentes.

Mas não há pressa porque a maioria destes elementos é tão instável que só poderão ser criados em aceleradores de partículas e não existem durante mais de alguns minutos. Se tivéssemos cem mil átomos de livermório (elemento 116), restaria apenas um único após um segundo. Algumas centenas de milissegundos mais tarde, também esse desapareceria.

Infelizmente para o nosso projeto, os elementos transurânicos não desaparecem de forma pacífica. Entram em decadência radioativa. E a maioria transforma-se em substâncias que também entram em decadência. Um cubo de qualquer um dos elementos de número mais elevado dissipar-se-ia em segundos, libertando uma quantidade de energia tremenda.

O resultado não seria apenas semelhante a uma explosão nuclear. Seria realmente uma explosão nuclear. No entanto, ao contrário de uma bomba de fissão, não seria uma reação em cadeia. Seria apenas uma reação. Aconteceria tudo em simultâneo.



O fluxo de energia transformar-nos-ia instantaneamente, a nós e ao resto da tabela periódica, em plasma. A explosão seria parecida com uma detonação nuclear de potência média, mas as cinzas radioativas seriam muitas vezes piores. Uma verdadeira salada de tudo o que contém a tabela periódica transformando-se em tudo o resto à máxima velocidade.

Uma nuvem em cogumelo erguer-se-ia sobre a cidade. O topo da nuvem passaria acima da estratosfera, impelido pelo seu próprio calor. Se o construtor da parede estivesse numa área habitada, as baixas imediatas da explosão seriam avassaladoras, mas a contaminação a longo prazo seria ainda pior.

As cinzas não seriam cinzas radioativas comuns.<sup>27</sup> Seriam como uma bomba nuclear que não parasse de explodir. Os detritos alastrariam pelo mundo, libertando radioatividade muitas vezes superior à do desastre de Chernobyl. Regiões inteiras seriam devastadas. As operações de limpeza durariam séculos.

<sup>27</sup> O tipo de cinzas radioativas que não preocupam ninguém.

Colecionar coisas é divertido, mas quem coleccionar elementos químicos não vai querer coleccioná-los a todos.



## TUDO A SALTAR

**P:** Que aconteceria se toda a população da Terra se juntasse no mesmo sítio e saltasse, aterrando todos ao mesmo tempo?  
— **Thomas Bennett (e muitos outros)**

---

**R:** ESTA FOI UMA DAS perguntas mais populares submetidas através do *site*. Já foi abordada outras vezes, incluindo em *ScienceBlogs* e *The Straight Dope*. Cobriram de forma muito rigorosa a cinemática. No entanto, não contaram a história toda.

Vejamos as coisas com maior atenção.

No início deste cenário, a população inteira da Terra foi transportada por magia para o mesmo local.



A multidão ocupa uma área com o tamanho de Rhode Island. Mas não há motivos para usar uma expressão vaga como «uma área com o



tamanho de Rhode Island». O cenário é nosso e podemos ser específicos. Estão realmente em Rhode Island.



Ao soar o meio-dia, toda a gente salta.



Como foi referido noutros sítios, o planeta não sentirá qualquer efeito. A massa da Terra é superior à nossa por uma potência de mais de dez triliões. Em média, os humanos conseguirão saltar verticalmente um meio metro, em dias bons. Mesmo que a Terra fosse rígida e reagisse imediatamente, seria empurrada para baixo menos que o diâmetro de um átomo.

A seguir, as pessoas voltariam a tocar o chão.



Em teoria, isto aplicará muita energia sobre a Terra, mas essa energia

alastrar-se-ia por uma área suficientemente grande para não surtir efeito que vá além de deixar pegadas num número gigantesco de jardins. Uma ligeira onda de pressão alastrar-se-ia pela placa continental da América do Norte e dissiparia o efeito reduzido. O som de todos estes pés batendo no chão provocaria um estrondo alto e arrastado que duraria muitos segundos.

O silêncio acabaria por voltar.



Passam segundos. Toda a gente olha à sua volta. Há muitos olhares incomodados. Alguém tosse.



Um telefone sai de um bolso. Segundos depois, seguem-se os restantes cinco mil milhões de telefones do mundo. Todos eles, mesmo os que forem compatíveis com as torres de telecomunicações da região, exibirão nos seus ecrãs uma mensagem dizendo «SEM REDE». As redes telefónicas móveis terão sucumbido à carga nunca antes vista. Fora de Rhode Island, maquinaria abandonada parará de funcionar.

O Aeroporto T.F. Green em Warwick, Rhode Island, lida com alguns milhares de passageiros por dia. Supondo que se organizassem (incluindo enviando batedores em busca de combustível), conseguiriam operar a 500% da sua capacidade habitual durante anos sem diminuir de forma significativa a multidão.



Acrescentar todos os aeroportos próximos não alteraria muito a equação. E o mesmo se aplicará ao sistema ferroviário regional. Partes da multidão embarcam em navios porta-contentores no porto de águas profundas de Providence, mas armazenar comida e água suficiente para viagens marítimas longas será complicado.

O meio milhão de carros de Rhode Island é requisitado. Momentos depois, as estradas I-95, I-195 e I-295 tornam-se o palco do maior engarrafamento na história do planeta. A maioria dos carros acaba por ser engolida pela multidão, mas alguns afortunados conseguem escapar e começam a deambular pela rede rodoviária deserta.

Alguns passam além de Nova Iorque ou Boston antes de ficarem sem combustível. Porque a eletricidade terá já deixado de funcionar neste ponto, será mais fácil abandonar o carro e roubar outro em vez de encontrar uma estação de serviço operacional. Quem poderá impedir que isto aconteça? Todos os polícias estão em Rhode Island.

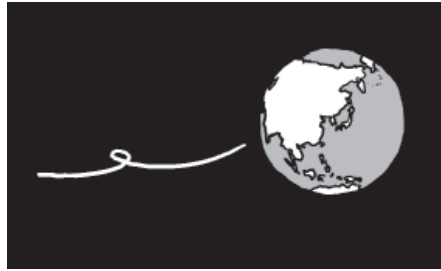
O limite exterior da multidão alastra para o Sul do Massachusetts e para o Connecticut. Sempre que duas pessoas se encontrarem, será pouco provável que falem a mesma língua e quase ninguém conhecerá a região. Rhode Island torna-se um aglomerado caótico de hierarquias sociais que se formam e destroem a ritmo avassalador. A violência é comum. Todos sentem fome e sede. Os supermercados estão vazios. A água doce é difícil de encontrar e não existe um sistema eficaz para a sua distribuição.

No espaço de semanas, Rhode Island transforma-se num cemitério para milhares de milhões de pessoas.

Os sobreviventes espalham-se pelo mundo e esforçam-se para construir uma nova civilização sobre as ruínas da antiga. A nossa espécie

resiste, mas a população humana foi grandemente reduzida. A órbita terrestre permanece completamente inalterada. Gira exatamente como girava antes do nosso salto coletivo.

Pelo menos, passámos a saber o que acontece.



## UMA MOLE DE TOUPEIRAS<sup>28</sup>

**P:** Que aconteceria se reuníssemos uma mole (unidade de medida) de toupeiras (pequeno mamífero insetívoro) no mesmo local?

— Sean Rice

---

**R:** AS COISAS FICARIAM um bocado medonhas.

Comecemos pelas definições.

Uma mole é uma unidade de medida. Mas não é uma unidade de medida típica. É apenas um número, tal como «dúzia» ou «bilião». Quando temos uma mole de alguma coisa, significa que temos 602.214.129.000.000.000.000.000 de coisas iguais (habitualmente escrito desta forma:  $6,022 \times 10^{23}$ ). É um número tão grande<sup>29</sup> porque é usado para contar moléculas, que existem em grande quantidade.



<sup>28</sup> A *mole of moles*, no original. (N. do T.)

<sup>29</sup> «Uma mole» está perto do número de átomos num grama de hidrogénio. Além disso, é também uma boa estimativa do número de grãos de areia que existem na Terra.

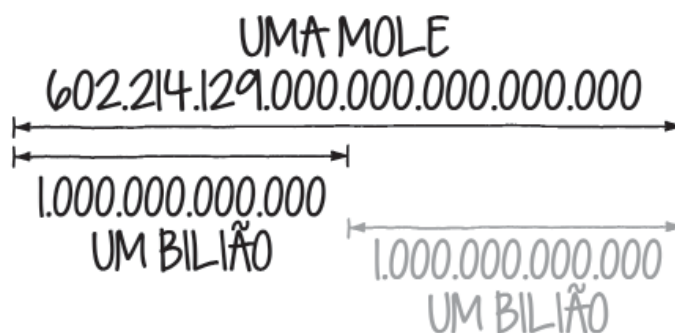
Uma toupeira é um tipo de animal que escava túneis. Existem vários tipos de toupeiras e algumas são horríveis.<sup>30</sup>



A que se assemelharia uma mole de toupeiras (602.214.129.000.000 .000.000.000 de animais)?

Comecemos por uma estimativa vaga. É o tipo de coisa que poderá passar-me pela cabeça antes de pegar numa calculadora, quando tento apenas ter uma noção da quantidade. É o tipo de cálculo em que 10, 1 e 0,1 estão tão próximos que poderemos considerá-los iguais:

Uma toupeira é suficientemente pequena para conseguir pegar nela e atirá-la a uma grande distância <sup>(citação necessária)</sup>. Qualquer coisa que consiga atirar pesa um quilo. O número 602.214.129.000.000.000.000.000 parece ter o dobro do comprimento de um bilião, o que significa que entrará na casa dos triliões. Lembro-me de que um planeta pesará seis quadriliões de quilos.



*... se alguém perguntar, não fui eu a dizer-vos que podiam fazer cálculos matemáticos assim.*

<sup>30</sup> <http://en.wikipedia.org/wiki/File:Condylura.jpg>.

Isto bastará para nos dizer que falamos de uma pilha de toupeiras à escala planetária. É uma estimativa bastante vaga, já que poderá errar por milhares em qualquer direção.

Passemos a cálculos mais rigorosos.

Uma toupeira da espécie *Scalopus aquaticus* pesa cerca de setenta e cinco gramas, o que significa que uma mole destas toupeiras pesará:

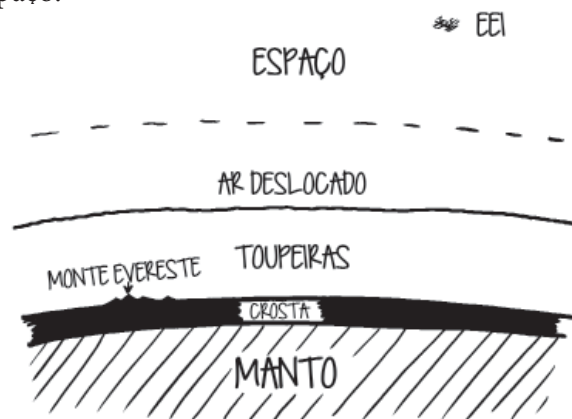
$$(6,022 \times 10^{23}) \times 75 \text{g} \approx 4,52 \times 10^{22} \text{kg}$$

É um pouco mais de metade da massa da nossa Lua.

Os mamíferos são constituídos maioritariamente por água. Um quilo de água ocupa um litro de volume. Portanto, se as toupeiras pesarem  $4,52 \times 10^{22}$  quilos, ocuparão  $4,52 \times 10^{22}$  de volume. Talvez vos ocorra que ignoramos o espaço entre as toupeiras. Perceberão porquê daqui a pouco.

A raiz cúbica de  $4,52 \times 10^{22}$  litros é 3652 quilómetros, o que significa que falamos de uma esfera com um raio de 2210 quilómetros ou de um cubo com 2213 milhas por face<sup>31</sup>.

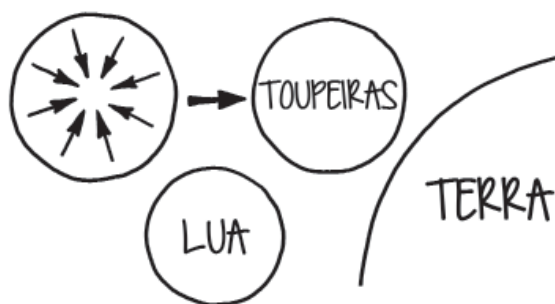
Se estas toupeiras fossem colocadas sobre a superfície da Terra, cobri-la-iam até uma altitude de oitenta quilómetros, quase o (anterior) limite do espaço:



<sup>31</sup> É uma coincidência engraçada em que nunca tinha reparado antes. Uma milha cúbica equivale quase exatamente a  $4/3\pi$  quilómetros cúbicos. Portanto, uma esfera com um raio de X quilómetros terá o mesmo volume de um cubo com X milhas em cada face.

Este oceano esmagador de carne pressurizada extinguiria a maioria da vida no planeta, o que acabaria por (para horror do *Reddit*) ameaçar a integridade dos sistemas de DNS. Portanto, fazer isto na Terra não será uma opção válida.

Em vez disso, vamos reunir as toupeiras num espaço interplanetário. A atração gravitacional faria com que formassem uma esfera. A carne não se comprime muito bem e sofreria alguma contração gravitacional. Acabariamos com um planeta de toupeiras ligeiramente maior que a Lua.



As toupeiras teriam uma gravidade à superfície que seria cerca de um dezasseis avos da gravidade da Terra, semelhante à gravidade de Plutão. O planeta começaria por ter uma temperatura morna uniforme, possivelmente um pouco superior à temperatura ambiente, e a contração gravitacional aqueceria o núcleo um punhado de graus.

É aqui que as coisas ficam estranhas.

O planeta de toupeiras seria uma gigantesca esfera de carne. Poderia ter grande quantidade de energia latente (existiriam calorías suficientes no planeta de toupeiras para sustentar toda a população atual da Terra durante trinta mil milhões de anos). Normalmente, quando a matéria orgânica se decompõe, liberta grande parte dessa energia como calor. Mas, na maior parte do interior do planeta, a pressão superaria os cem megapascal, suficientemente alta para matar todas as bactérias e para esterilizar os restos de toupeira, não restando micro-organismos para decompor o tecido das toupeiras.

Mais perto da superfície, onde a pressão seria mais baixa, haveria outro obstáculo à decomposição. O interior de um planeta de toupeiras seria pobre em oxigénio. Sem oxigénio, a decomposição habitual não ocorreria e as únicas bactérias capazes de decompor as toupeiras seriam



as que não exigem oxigénio. Apesar de ser ineficiente, esta decomposição anaeróbica conseguiria produzir uma quantidade considerável de calor. Se continuasse a verificar-se, faria ferver o planeta.

Mas a decomposição imporiria um limite a si própria. Poucas bactérias conseguirão sobreviver a temperaturas acima dos 60°C e, com a subida da temperatura, as bactérias morreriam e a decomposição abrandaria. Por todo o planeta, os cadáveres das toupeiras seriam transformados em querogénio, uma mistura de matéria orgânica que, se o planeta fosse mais quente, acabaria por se transformar em petróleo.

A superfície exterior do planeta emitiria o seu calor para o espaço e acabaria por gelar. Porque as toupeiras formariam um manto de pelo literal, depois de gelarem, isolariam o interior do planeta e abrandariam a perda de calor para o espaço. No entanto, o fluxo térmico no interior líquido seria dominado pela convecção. Colunas de carne quente e bolhas de gases aprisionados como o metano (juntamente com o ar dos pulmões das toupeiras mortas) erguer-se-iam periodicamente através da crosta em erupções vulcânicas à superfície, formando géiseres de morte e expulsando cadáveres de toupeiras do planeta.

Por fim, após séculos ou milénios de agitação, o planeta acalmaria e arrefeceria suficientemente para começar a congelar abaixo da superfície. O núcleo continuaria a estar sob grande pressão e, ao arrefecer, a água cristalizaria em tipos de gelo exótico, como o gelo III e o gelo V e, eventualmente, o gelo II e o gelo IX.<sup>32</sup>

É uma imagem bastante deprimente. Felizmente, haverá uma abordagem melhor.

Não tenho números fiáveis acerca da população global de toupeiras (ou da biomassa dos pequenos mamíferos no geral), mas arrisquemos a estimativa de que existirão pelo menos algumas dúzias de ratos, ratazanas, arganazes e outros pequenos mamíferos por cada humano.

Poderão existir mil milhões de planetas habitáveis na nossa galáxia. Se os colonizarmos, certamente levaremos ratos e ratazanas connosco. Se apenas um em cem planetas fosse povoado com um número de pequenos mamíferos semelhante ao da Terra, após alguns milhões de anos (não é muito tempo para a evolução), o total a ter vivido ultrapassaria o número de Avogadro.

---

<sup>32</sup> Sem parentesco.

Se quiserem um planeta de toupeiras, construam uma nave espacial.



## SECADOR DE CABELO

**P:** Que aconteceria se um secador de cabelo com potência contínua fosse ligado e fechado numa caixa estanque de 1x1x1 metros?  
— **Dry Paratroopa**

---

**R: UM SECADOR DE CABELO** comum consome 1875 watts de potência.

Esses 1875 watts terão de ir para algum lado. Independentemente do que acontecer dentro da caixa, se o secador consome 1875 watts de potência, acabará por haver 1875 watts de calor a irradiarem.

Isto aplicar-se-á a qualquer dispositivo que consuma potência elétrica e é útil sabê-lo. Por exemplo, as pessoas preocupam-se com carregadores desligados enfiados na tomada por recearem que consumam energia. Terão razão? A análise do fluxo térmico dá-nos uma regra simples: se um carregador desligado não estiver quente ao toque, usará menos de um cêntimo de eletricidade por dia. Para um pequeno carregador de *smartphone*, se não estiver quente ao toque, usará menos de um cêntimo por ano. Isto aplicar-se-á a quase todos os dispositivos elétricos.<sup>33</sup>

Mas voltemos à caixa.

O calor flui do secador para a caixa. Se supusermos que o secador é indestrutível, o interior da caixa não parará de aquecer até a superfície externa atingir cerca de 60°C. Com esta temperatura, a caixa perderá calor para o exterior tão depressa quanto o secador gerará calor no interior e o sistema entrará em equilíbrio.

---

<sup>33</sup> Mas não necessariamente aos que estiverem ligados a um segundo dispositivo. Se um carregador estiver ligado a algo como um *smartphone* ou um computador portátil, a eletricidade fluirá da tomada para o dispositivo através do carregador.



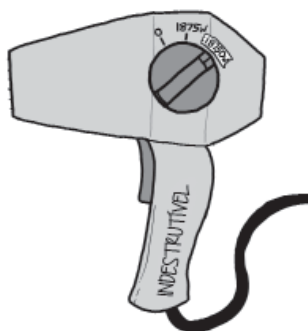
*É mais quente que os meus pais! É o meu novo pai e mãe.*

A temperatura de equilíbrio será um pouco inferior se houver uma brisa ou se a caixa estiver sobre uma superfície molhada ou metálica que atue como um bom condutor de calor.

Se a caixa for feita de metal, ficará suficientemente quente para queimar a mão de quem a tocar durante mais de cinco segundos. Se for de madeira, será provável que possa ser tocada durante algum tempo, mas existirá o risco de as partes da caixa em contacto com a boca do secador se incendiarem.

O interior da caixa será como um forno. A temperatura atingida dependerá da espessura das paredes. Quanto mais grossas e isoladoras forem, mais elevada será a temperatura. Não seria necessária uma caixa muito grossa para criar temperaturas suficientemente elevadas para queimar o secador.

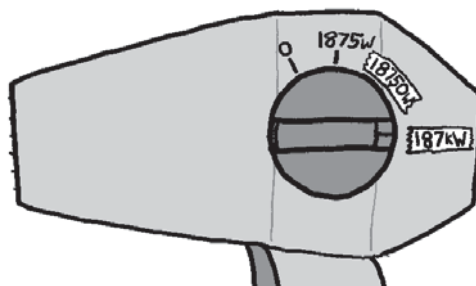
Mas suponhamos que o secador é indestrutível. E, se temos algo tão fantástico como um secador indestrutível, seria uma pena limitá-lo a 1875 watts.



Com uma potência de 18.750 watts projetada pelo secador, a superfície da caixa ultrapassará os 200°C, tão quente como uma frigideira sobre lume médio.



Até onde irá o botão da potência?

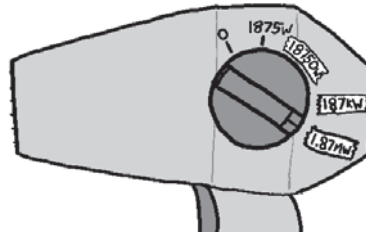


*A quantidade de espaço livre no botão é alarmante.*

A superfície da caixa atingiu os 600°C, calor suficiente para a tornar incandescente.



Se for feita de alumínio, o interior começará a derreter. Se for feita de chumbo, o exterior começará a derreter. Se estiver sobre um piso de madeira, a casa estará em chamas. Mas não importa o que aconteça à volta. O secador é indestrutível.

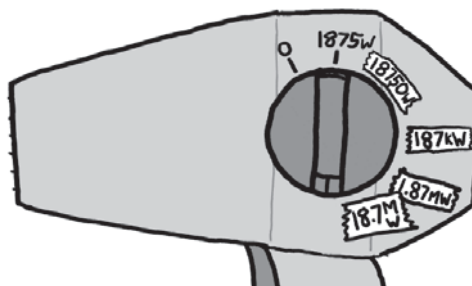


Dois megawatts canalizados para um laser serão suficientes para destruir mísseis.

Aos 1300°C, a caixa atingirá a temperatura da lava.



Mais um pouco.



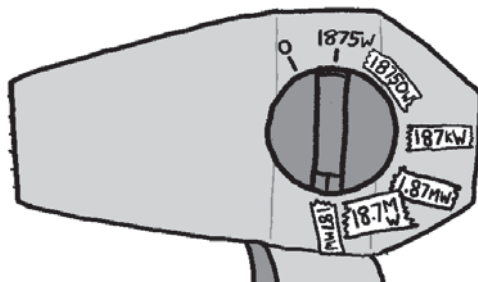
*É possível que este secador não respeite as normas de segurança.*

A potência canalizada para o interior da caixa é de 18 megawatts.



A superfície da caixa atinge os 2400°C. Se for de aço, terá derretido. Se for de um material como o tungstênio, terá resistido um pouco mais.

Mais um pouco e pararemos.



Esta potência, 187 megawatts, é suficiente para transformar a caixa num bloco branco incandescente. Não existem muitos materiais que consigam resistir a estas condições e teremos de supor que a caixa é indestrutível.



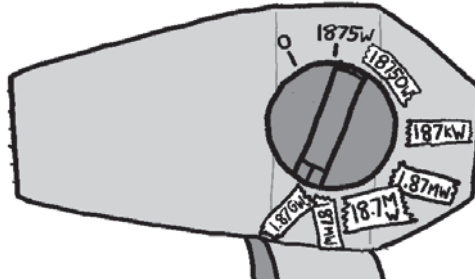
*O chão é feito de lava.*

Infelizmente, o chão não é.

Antes que a caixa consiga abrir um buraco no chão, alguém lhe atira um balão de água. A explosão de vapor lança a caixa pela porta, acabando no passeio.<sup>34</sup>

---

<sup>34</sup> Nota: se algum dia estiverem encurralados comigo num edifício em chamas e me ouvirem dizer que tenho uma ideia para conseguirmos escapar da situação, talvez seja melhor ignorarem-me.



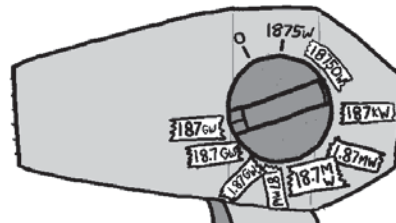
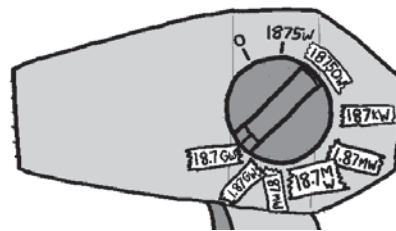
Estamos com uma potência de 1875 gigawatts (menti quando disse que parariamos). De acordo com o *Regresso ao Futuro*, o secador de cabelo canaliza agora potência suficiente para permitir viajar no tempo.



A caixa brilha com luz cegante e será impossível aproximarmos-nos mais de algumas centenas de metros devido ao calor extremo. Está rodeada por uma poça de lava crescente. Qualquer coisa num raio de cinquenta a cem metros irrompe em chamas. Uma coluna de calor e fumo ergue-se no ar. Explosões periódicas de gás por baixo da caixa lançam-na ao ar, ateando incêndios e formando uma nova poça de lava onde aterrar.

Continuamos a girar o botão.

Com 18,7 gigawatts, as condições à volta da caixa são semelhan-





tes às existentes na plataforma de lançamento durante a descolagem de um vaivém. A caixa começa a ser movida pelas poderosas correntes térmicas que cria.

Em 1914, H.G. Wells imaginou dispositivos destes no seu livro *The World Set Free*. Escreveu sobre um tipo de bomba que, em vez de explodir uma só vez, explodia de forma continuada, um inferno de combustão lenta que ateava incêndios impossíveis de extinguir no coração das cidades. A história serviu como antevisão sombria do desenvolvimento das armas nucleares trinta anos mais tarde.

A potência de 1875 gigawatts é como uma pilha de TNT do tamanho de uma casa explodindo a cada segundo.

Um rasto de explosões, conflagrações massivas que se sustentam pela criação dos seus próprios sistemas de movimentação de ar, expande-se pela paisagem.

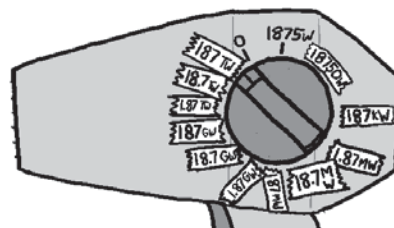
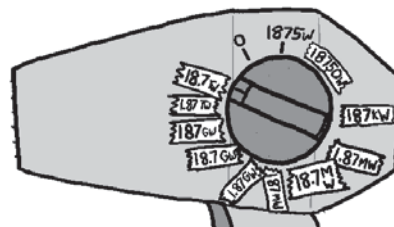
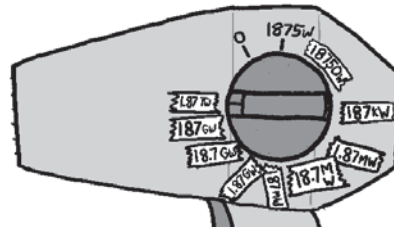
Atingimos um novo marco. O secador consome agora, de forma impossível, mais potência do que todos os outros dispositivos elétricos do planeta combinados.

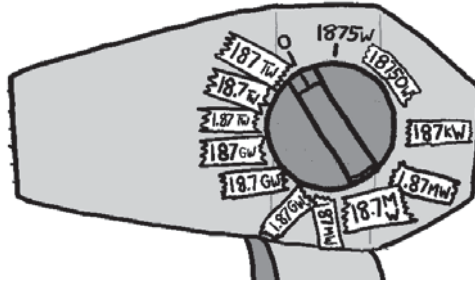
A caixa, erguendo-se muito acima da superfície terrestre, emite energia equivalente a três testes *Trinity* a cada segundo.

Neste ponto, o padrão torna-se óbvio. Esta coisa continuará a viajar pela atmosfera até destruir o planeta.

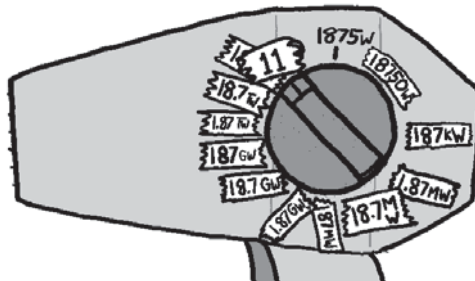
Tentemos algo diferente.

Giramos o botão para o zero quando a caixa passar sobre o Norte do Canadá. Arrefecendo rapidamente, cai, aterrando no Great Bear Lake com uma coluna de vapor.





E então...



Neste caso, são onze petawatts.

### Uma breve história:

O recorde oficial para o objeto mais rápido feito pelo Homem pertence à sonda *Helios 2*, que atingiu cerca de setenta quilómetros por segundo numa passagem perto do Sol. Mas é possível que o detentor real desse título seja uma tampa metálica de duas toneladas.

A tampa cobria uma conduta numa instalação de testes nucleares subterrâneos operada pelo laboratório de Los Alamos e integrada na operação *Plumbbob*. Quando a bomba de uma quilotonelada explodiu, as instalações transformaram-se efetivamente num canhão de ar comprimido nuclear, dando um impulso gigantesco à tampa. Uma câmara de grande velocidade apontada à tampa captou apenas um *frame* da sua ascensão antes de desaparecer, o que significa que se movia a um mínimo de sessenta e seis quilómetros por segundo. A tampa nunca foi encontrada.

Sessenta e seis quilómetros equivale à velocidade de escape multipli-

cada por seis, mas, contrariando o que habitualmente se pensa, é pouco provável que a tampa alguma vez chegasse ao espaço. A aproximação da profundidade de impacto de Newton sugere que terá sido completamente destruída pelo impacto com a atmosfera ou terá abrandado e caído na superfície.

Quando voltarmos a ligá-lo, o nosso secador na caixa flutuando no lago passará por um processo semelhante. O vapor aquecido por baixo expandir-se-á e, enquanto a caixa se ergue no ar, toda a superfície do lago será transformada em vapor. O vapor, aquecido até formar plasma pela onda de radiação, acelerará cada vez mais a caixa.



*Fotografia tirada pelo comandante Hadfield.*

Em vez de embater contra a atmosfera como a tampa da conduta, a caixa atravessará uma bolha de plasma em expansão que oferecerá pouca resistência. Sairá da atmosfera e continuará a afastar-se, transformando-se gradualmente de segundo sol em estrela distante. Grande parte da província canadiana dos Territórios do Noroeste arderá, mas a Terra sobreviveu.



Mas alguns prefeririam que tal não tivesse acontecido.

## PERGUNTAS ESTRANHAS (E PRECUPANTES) DA CAIXA DE CORREIO E SE? Nº 2

**P:** Verter antimatéria sobre o reator de Chernobyl enquanto se fundia conseguiria travar o desastre?

— AJ



**P:** É possível que alguém chore tanto que acabe por sofrer de desidratação?

— Karl Wildermuth



## A ÚLTIMA LUZ DA HUMANIDADE

**P:** Se todos os humanos desaparecessem da face da Terra, quanto tempo duraria a última luz artificial?

— Alan

---

**R:** HAVERIA UM GRANDE número de candidatas ao título de «última luz».

No seu soberbo livro de 2007, *The World Without Us*, Alan Weisman explorou de forma detalhada o que aconteceria às casas, estradas, arranha-céus, quintas e animais do planeta se os humanos desaparecessem de repente. Uma série televisiva de 2008 chamada *Life After People* investigou a mesma premissa. No entanto, nem o livro nem a série responderam a esta questão específica.

Começaremos pelo óbvio. A maioria das luzes não duraria muito tempo porque as principais redes elétricas deixariam de funcionar de forma relativamente rápida. As centrais elétricas alimentadas por combustíveis fósseis, que fornecem a maior parte da eletricidade do mundo, exigem um fornecimento constante de combustível e as suas cadeias de abastecimento envolvem decisões tomadas por humanos.



Sem pessoas, a exigência de energia seria menor, mas os nossos termóstatos continuariam a funcionar. Com o encerramento das centrais abastecidas com derivados do petróleo nas primeiras horas, as outras centrais teriam de compensar a produção em falta. Este tipo de situação é difícil de gerir mesmo com orientação humana. O resultado seria uma série rápida de falhas em sucessão, provocando um apagão em todas as principais redes elétricas.

No entanto, há muita eletricidade que provém de fontes não ligadas às principais redes elétricas. Olhemos para algumas delas e para o momento em que cada uma poderia desativar-se.

### **Geradores a *diesel***

Muitas comunidades remotas, como as que habitam ilhas isoladas, obtêm a sua eletricidade de geradores a *diesel*. Estes poderão continuar a operar até o combustível se esgotar. Na maior parte dos casos, isto poderá demorar entre dias e meses.

### **Centrais geotérmicas**

As centrais elétricas que não precisam de combustível fornecido por mão humana conseguiriam sair-se melhor. As centrais geotérmicas, que são alimentadas pelo calor interno da Terra, conseguem operar durante algum tempo sem intervenção do Homem.

De acordo com o manual de manutenção da central geotérmica de Svartsengi, na Islândia, os técnicos necessitarão de mudar o óleo ao mecanismo de seis em seis meses, voltando a lubrificar todos os motores elétricos e ligações. Sem humanos para desempenhar procedimentos de manutenção deste tipo, algumas centrais poderão operar durante alguns anos, mas acabarão por sucumbir à corrosão.

### **Turbinas eólicas**

Quem consumir eletricidade gerada pelo vento terá mais sorte. As turbinas são concebidas para não necessitarem de manutenção constante por um motivo simples: são numerosas e difíceis de reparar.

Alguns moinhos de vento podem operar durante muito tempo sem intervenção humana. A Turbina Eólica de Gedser na Dinamarca foi instalada no final da década de cinquenta e gerou eletricidade durante onze anos sem manutenção. As turbinas modernas são habitualmente programadas para operarem durante trinta mil horas (três anos) sem manutenção e sem dúvida que algumas funcionariam durante décadas. Uma delas conseguiria manter pelo menos um indicador luminoso LED algures.

Por fim, a maioria das turbinas eólicas deixaria de funcionar pelo mesmo motivo que destruiria as centrais geotérmicas. As suas engrenagens bloqueariam.

### **Centrais hidroelétricas**

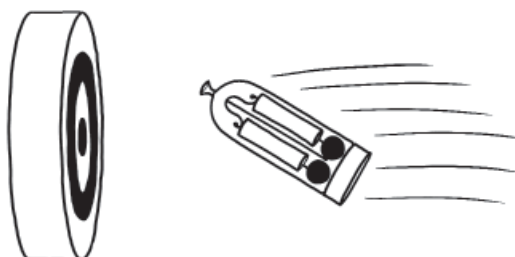
Os geradores que convertem água em movimento em eletricidade continuarão a funcionar durante bastante tempo. O programa *Life After People* do *History Channel* entrevistou um operador da Barragem Hoover, que disse que, se todos os técnicos partissem, a barragem continuaria a funcionar em piloto automático durante vários anos. Sucumbiria provavelmente a entupimentos nas condutas ou ao mesmo tipo de falha mecânica que afetaria as turbinas eólicas e as centrais geotérmicas.

## Pilhas

As luzes alimentadas por pilhas apagar-se-ão todas dentro de uma década ou duas. Mesmo sem algo que consuma a sua energia, as pilhas descarregam-se por si mesmas de forma gradual. Alguns tipos duram mais tempo que outros, mas até as baterias publicitadas como tendo longa duração conseguirão manter a sua carga apenas durante uma ou duas décadas.



Existem algumas exceções. Na Biblioteca Clarendon da Universidade de Oxford, existe uma campanha alimentada por uma pilha que toca desde 1840. A campanha «toca» com um volume tão baixo que é quase inaudível, usando uma fração minúscula da carga com cada movimento do badalo. Ninguém sabe ao certo que tipo de pilha usa porque ninguém quer desmontá-la para descobrir.



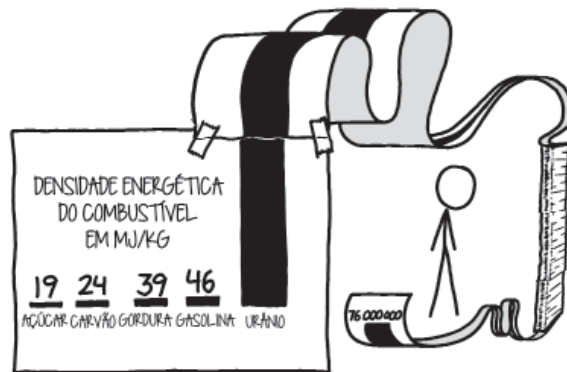
CIENTISTAS DO CERN INVESTIGAM A CAMPAINHA DE OXFORD.

Lamentavelmente, não tem uma luz associada.

## Reatores nucleares

Os reatores nucleares são complicados. No modo de baixo consumo, poderão continuar a operar por tempo indefinido. A densidade energética do seu combustível é alta a esse ponto. Como referiu uma certa tira de banda desenhada *online*:





Infelizmente, apesar de existir combustível suficiente, os reatores não funcionariam durante muito tempo. Assim que ocorresse algum problema, o núcleo encerraria de forma automática. Isto aconteceria rapidamente e muitas coisas poderão desencadear o processo, mas o culpado mais provável seria a perda de potência exterior.

Poderá parecer estranho que uma central nuclear precise de energia externa para operar, mas cada componente do sistema de controlo de um reator nuclear foi concebido para se desligar rapidamente em caso de falha, através de um processo SCRAM<sup>35</sup>. Quando a energia externa se perde, porque a central elétrica exterior encerra ou porque os geradores locais esgotam o seu combustível, o reator ativaria o SCRAM.

### Sondas espaciais

De todos os artefactos humanos, os veículos espaciais poderão ser os mais duradouros. Algumas das suas órbitas demorarão milhões de anos a completar-se, ainda que o seu abastecimento elétrico não seja igualmente duradouro.

Daqui a séculos, as nossas sondas em Marte estarão sepultadas em pó. Quando acontecer, muitos dos nossos satélites terão caído na Terra após decadência gradual das suas órbitas. Satélites GPS com órbitas

<sup>35</sup> Quando Enrico Fermi construiu o primeiro reator nuclear, suspendeu as varetas de controlo de uma corda presa a um corrimão de varanda. Em caso de falha, havia um físico conceituado posicionado junto ao corrimão com um machado. Isto motivou a história possivelmente apócrifa segundo a qual SCRAM significará «*Safety Control Rod Axe Man*» («Homem com Machado junto às Varetas de Controlo e Segurança»).