

Cynthia Schuck Paim
& Wladimir J. Alonso

PANDEMIAS,

saúde global e escolhas pessoais.





Pintura '**Ocultación**' da capa,
permissão de uso gentilmente
concedida pelo artista **Gonzalo Sicre**
(óleo sobre tela / 73x100cm)



Cynthia Schuck Paim
& Wladimir J. Alonso

PANDEMIAS,

saúde global e escolhas pessoais.

Tradução: Liane Reis

Revisão: Elsa Negro Calduch, Marcia Triunfol, Monica Buava

1ª Edição - 2020
Alfenas - MG



cria editora .com.br

© Cria Mineira Empreendimentos Ltda.
Todos os direitos reservados. Impresso no Brasil
Rua Dirce Moura Leite,118 - Alfenas - MG
37130-762 - Brasil

contato@criaeditora.com.br



cria editora .com.br

Direção Geral: Nádía Alonso

Direção Editorial: Marcelo R. Alonso

criaeditora.com.br

à nossa família, com carinho

9 introdução

10 Contato direto com vírus selvagens
Animais como máquinas de produção extrema:
No meio da selva.10
No coração das grandes cidades.14

20 Fabricando organismos altamente patogênicos
Animais como máquinas de produção extrema:
fragilização ante os patógenos28
Biosegurança30

32 Contaminação alimentar

39 Transporte de Animais Vivos

41 Perdendo a batalha para as infecções:
a resistência a antibióticos
Como as bactérias se tornam resistentes?.45
Por que a resistência a antibióticos está
se espalhando tão rapidamente?.47
Resistência a antibióticos: o caminho
dos animais aos humanos51

54 Impacto Econômico

55 Um breve resumo da nossa história
com os animais

58 Um compromisso com esta e futuras gerações
Escolhas pessoais e riscos para a sociedade. 60

62 Mirando no futuro
Tecnologia 62
Um Mundo Mais Próspero. 66
Um mundo mais resiliente 69

72 Referências

Introdução

Podemos comparar pandemias e surtos de doenças infecciosas a desastres naturais, tais como terremotos, tsunamis e furacões, contra os quais pouco se pode fazer além de nos prepararmos para o pior? Deveria a nossa civilização se resignar a viver sob a ameaça constante de pandemias altamente patogênicas, e simplesmente ter em mãos planos de ação para reduzir seus efeitos quando elas acontecem? O enorme impacto que esses eventos têm em termos de sofrimento humano e vidas perdidas, além de seus efeitos econômicos e sociais, não permite ignorarmos estas questões.

Felizmente, é possível reduzir as chances de que esses eventos continuem a afligir a humanidade. Os diversos patógenos potencialmente perigosos ao ser humano que circulam na natureza não conseguem nos atingir tão facilmente. Condições especiais são necessárias para que isto ocorra, especialmente em sociedades cada vez mais urbanizadas, onde o nosso contato direto com a natureza é muito esporádico, e quando ocorre usamos botas para nos proteger do solo, repelentes para nos proteger dos insetos, além de levarmos nossa própria água e comida.

Mas se a maioria de nós não está em contato direto com essa diversidade enorme de patógenos, por que eles continuam nos afetando através de epidemias graves, como as

do Ebola e HIV ou em pandemias como a da influenza e do coronavírus? Neste livro, nos focamos na identificação das causas estruturais que favorecem o surgimento de grande parte das pandemias e epidemias de doenças infecciosas. Essas causas em grande parte coincidem com as que levam à perda de milhares de vidas todos os anos por doenças infecciosas comuns. Abordá-las é essencial para proteger vidas, melhorar o bem-estar das populações e tornar nossas economias e futuro mais seguros.

Como veremos aqui, todos podemos contribuir positivamente, pois nossas escolhas como consumidores podem ser, afortunadamente, decisivas nesse sentido.

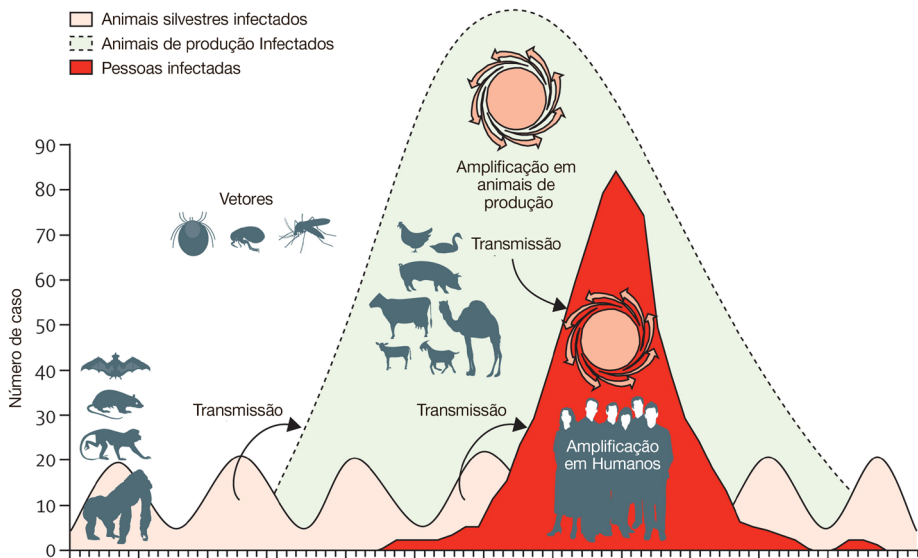
Contato direto com vírus selvagens

No meio da selva

No dia 20 de julho de 2014, um homem de 40 anos sofreu um colapso quando desembarcava no aeroporto de Lagos, na Nigéria, a caminho de outra cidade daquele país, onde iria dar uma palestra. Este evento pouco conhecido é provavelmente um dos maiores golpes de sorte da nossa civilização moderna^{1,2}. Se este homem tivesse saído do aeroporto, hoje o mundo poderia ser bem diferente. O homem, Patrick Sawyer, estava vindo da Libéria, depois de cuidar de um parente que havia falecido em decorrência de sua infecção pelo

vírus do Ebola doze dias antes. Patrick também havia sido diagnosticado com o Ebola três dias antes do vôo e, apesar das orientações médicas contrárias, deixou o hospital e embarcou para Lagos, a maior cidade na Nigéria, na época com cerca de 12 milhões de habitantes. A Nigéria recentemente ultrapassou a Índia como o país com o maior número de pessoas vivendo em condições de extrema pobreza ³. Lagos é uma cidade onde a infraestrutura e o sistema de saúde pública são deficientes. Assim o Ebola teria encontrado um ambiente ideal para replicar o cenário calamitoso em que se encontravam, naquele momento, a Libéria, Serra Leoa e a Guiné. Mas desta vez o cenário poderia se desdobrar em escala continental — e talvez global já que Lagos também é usada por milhões de pessoas como um grande centro de conexão aérea dentro da África e para o resto do mundo. Felizmente, a reação rápida das autoridades nigerianas e de parceiros internacionais evitaram que isso acontecesse ^{1,2,4}.

A agressividade do Ebola (tanto sua alta taxa de mortalidade como a evolução da doença) é bem conhecida. Trata-se de uma entre várias doenças infecciosas que afetam seres humanos quando nos expomos à grande diversidade de vírus presentes em animais selvagens, mas que podem ser nocivos para as pessoas. No caso do surto de Ebola na África Ocidental, acredita-se que o primeiro caso tenha sido o de um menino de dois anos de Meliandou, um pequeno vilarejo na Guiné. O menino costumava brincar com outras crianças no oco de uma árvore onde habitavam morcegos. De acordo com os moradores, as crianças às vezes os capturavam, e não era raro cozinhar suas capturas em espetos para comê-los ⁵.



Nesta ilustração, vemos como um patógeno podem ser transmitidos de animais selvagens diretamente para pessoas (rosa claro para vermelho), ou primeiro infectar animais de produção (rosa claro para verde), o que pode então amplificar sua capacidade de transmissão para seres humanos (verde para vermelho) (reproduzido com permissão dos autores ⁶).

Há muitas formas através das quais os patógenos podem infectar os seres humanos, como a ingestão de água contaminada, a inalação de poeira de ambientes altamente contaminados (como cavernas), o consumo de alimentos contaminados com a saliva de animais infectados ou o contato físico com estes animais. Outra forma importante é através de um vetor -como um mosquito ou carrapato- por meio do qual o patógeno passa de um indivíduo para o outro, pertençam eles a mesma espécie ou não. Nesse caso, como o processo de infecção requer a existência de um intermediário, a disseminação espacial da doença é restrita a área de distribuição geográfica do vetor ⁷. No entanto, patógenos que infectam diretamente o ser humano (sem intermediários), e que a partir de um único caso (o “paciente zero”) são transmitidos de pessoa a pessoa de

forma sustentada, têm maior probabilidade de se tornarem pandêmicos, especialmente se a transmissão ocorrer através de comportamentos habituais como saudações físicas, compartilhamento de objetos, proximidade física ou sexo. E aqui chegamos então a uma outra rota que tem sido particularmente importante em pandemias recentes: o consumo de animais silvestres ⁸.

Acredita-se que a origem da maioria dos surtos de Ebola — que ainda acontecem, principalmente na África Central — está associada ao consumo da carne destes animais ⁹. Não é tanto o consumo de um animal já cozido que é perigoso, mas o processo de caça, manipulação, limpeza e corte do animal antes do consumo. Nesta atividade *literalmente* sangrenta há muitas oportunidades de exposição direta de tecidos humanos (como ferimentos na pele, mucosas) aos patógenos que podem estar presentes, por exemplo, no sangue do animal. Também é possível a contaminação cruzada de outros alimentos com os fluidos corporais do animal infectado. Os seres humanos foram provavelmente infectados com os precursores do HIV (sigla em inglês para o vírus da imunodeficiência humana) dessa forma, ao caçar chimpanzés para comer ¹⁰. Curiosamente, os chimpanzés também foram infectados da mesma forma, ao caçar duas espécies menores de primatas ¹¹. A infecção por HIV, que causa a Síndrome da Imunodeficiência Adquirida (SIDA / AIDS) se espalhou pelos quatro cantos do planeta nos anos 80. Trinta e nove milhões de pessoas morreram por complicações relacionadas à doença até 2018 ¹².

Com base nesses dados, seria de se esperar que para prevenir doenças infecciosas importadas da fauna silvestre

bastaria atuar sob tais práticas de consumo e na melhoria dos padrões de vida das populações ainda vivendo à margem das sociedades modernas. Infelizmente, as pandemias de gripe, os surtos de SARS de 2002/2003 e a pandemia de coronavírus de 2019/2020 nos mostram que o problema é bem mais amplo, como veremos a continuação.

No coração das grandes cidades

O surto do novo coronavírus (SARS-CoV-2) está mostrando ao mundo do que uma pandemia causada por um vírus respiratório é capaz. Se no tempo das máquinas a vapor o vírus da gripe de 1918 se espalhou a todos continentes em poucas semanas, não surpreende que, em uma época de intenso fluxo de viagens em escala global, esse novo coronavírus tenha chegado a todos os cantos do planeta de forma mais rápida ainda. Para frear o contágio e evitar o colapso dos sistemas de saúde, medidas de isolamento antes só imaginadas em filmes de ficção científica foram impostas em diversos países. No momento em que escrevemos essas linhas (março-abril de 2020), um terço da população mundial está em quarentena ¹³. Se por um lado o número de vítimas diretas que o vírus fará ainda é uma incógnita, por outro há menos dúvida sobre o desastre econômico global que o vírus deixará, principalmente entre as nações e populações mais vulneráveis.

Felizmente, a taxa de mortalidade deste coronavírus (a proporção de mortes comparada ao número total de pessoas infectadas) não é tão alta como a de alguns dos surtos de coronavírus anteriores. Por exemplo, no caso da epidemia de SARS (sigla em inglês para Síndrome Respiratória Aguda

Grave) em 2002/2003, a taxa de mortalidade na população foi de cerca de 10%, atingindo mais de 50% no caso dos idosos. Ações rápidas e a colaboração científica em níveis inéditos em todo o mundo foram fatores decisivos para sua contenção ^{14,15}. É difícil imaginar as consequências que uma letalidade tão alta teria se combinada com a alta transmissibilidade deste novo coronavírus.

Acredita-se que os surtos de coronavírus também tenham sua origem no consumo de animais selvagens, mas não aquele que acontece em pequenas aldeias em áreas rurais de países pobres. O que se postula até o momento é que tanto o SARS quanto o novo SARS-CoV-2 tenham surgido em mercados de animais vivos –também conhecidos como mercados úmidos– em grandes centros urbanos na China ^{4,14,16-18} (no caso do SARS-COV-2, o primeiro foco foi identificado em Wuhan, a cidade mais populosa da região central da China, com aproximadamente 11 milhões de habitantes*). O que torna os mercados úmidos diferentes é não só a grande diversidade de espécies vendidas, mas também a forma como os animais são expostos para a venda, e abatidos na hora a pedido do cliente. Mantidos em gaiolas e estandes pequenos, ficam amontoados em espaços mínimos, em pilhas e prateleiras, onde os níveis mais baixos são constantemente encharcados com excrementos oriundos dos andares de cima. Animais selvagens (como tartarugas, lontras, ouriços, civetas, texugos, cobras, morcegos e pangolins) podem até ter sido capturados da natureza, mas geralmente são criados em fazendas de

*Um adendo interessante é a estimativa de que cerca de cinco toneladas de carne de animais silvestres são contrabandeadas por semana da África para a Europa em bagagens pessoais somente através do aeroporto Charles de Gaulle, em Paris ¹⁹

empresas familiares. Muitos patologistas e virologistas já haviam notificado governos e autoridades sobre os perigos à saúde pública que esses locais representam ^{4,14,20}. A mistura frequente de uma alta diversidade de patógenos de espécies selvagens e domésticas, em um ambiente de estresse agudo para animais mantidos em condições sanitárias precárias, onde hospedeiros de várias espécies se encontram, criam as condições ideais para o surgimento de novos patógenos que podem infectar seres humanos, seja através de uma ferida aberta, da contaminação cruzada de outros alimentos, ou pelo ar, através da aerossolização de material orgânico.

A China já havia proibido o comércio e o consumo de animais selvagens depois do surto de SARS em 2002/2003, mas a proibição durou pouco tempo e, enquanto durou, levou à expansão de mercados ilegais. O mesmo ocorreu quando da proibição deste tipo de comércio em 2013/2014, em resposta à gripe aviária H7N9 (paradoxalmente, ao mesmo tempo em que proibiu o comércio de animais silvestres por causa da pandemia de SARS-CoV-2, o governo chinês recomendou o uso da bile de urso como tratamento ²¹).

Embora mais proeminente na China e Sudeste Asiático, a venda de animais em mercados úmidos ocorre em várias partes do mundo. Muitas vezes, a escolha pela exposição do animal ainda vivo não é apenas uma questão de tradição. Em Bangladesh, por exemplo, os mercados de aves vivas são o principal polo de vendas de frangos para consumo ²², já que a possibilidade de refrigerar a carne durante o transporte e nos pontos de venda é limitada, o que não é de surpreender considerando-se que parte da humanidade

—13% em 2016 ²³— ainda tem pouco ou nenhum acesso à energia (a falta de energia também é uma realidade nas áreas rurais e centros urbanos pobres da China ²⁴). Nos mercados de Bangladesh, as aves vêm de várias regiões, trazidas tanto por criadores pequenos (de fundo de quintal) como por grandes empresas avícolas.



Figura. A criação de aves nos quintais das casas é uma prática comum nas áreas rurais de Bangladesh (a), mas também existe em instalações industriais (b: galinhas poedeiras são confinadas nas chamadas gaiolas em bateria). As aves são transportadas em barcos, caminhões e riquixás (c,d) para mercados úmidos — ainda o local mais comum para a sua comercialização — onde são vendidas, abatidas e processadas (e). Os restos são aproveitados pelos mais pobres (f). Processamento e consumo da carne nas residências (g,h) (Arte: Leandro Lopes).

Em 2014, quando um de nós foi a Dhaka, capital de Bangladesh, para participar de um projeto de pesquisa em colaboração com a equipe local, realizamos um estudo para identificar “pontos epidemiológicos críticos” na população onde cepas de gripe aviária de alta patogenicidade apresentavam maior risco de transmissão para humanos. Algumas dessas cepas, como a de influenza A subtipo H5N1, foram inicialmente relatadas em humanos em 1997 (matando seis das 18 pessoas infectadas ²⁵), ressurgindo em 2003. Desde então, surtos de gripe aviária afetaram milhões de aves em mais de 60 países. Em Bangladesh, mais de 500 surtos foram relatados em aves entre 2007 e 2013 ²⁶. Era evidente que existiam muitas oportunidades de transmissão para humanos, mas o risco parecia particularmente alto durante os processos de abate e processamento de aves, e também no aproveitamento das sobras pela população mais pobre (figura anterior). Como a adoção de medidas protetivas, como o uso de luvas e outros artifícios ²⁷ em muitos casos não era realista, propusemos a vacinação dos trabalhadores dos mercados contra várias cepas de influenza, incluindo H5N1 (junto com outras vacinas importantes, como a do tétano), como uma solução de curto prazo para reduzir os riscos de uma cepa de gripe aviária cruzar novamente a barreira ave-homem e, eventualmente, conseguir se transmitir de forma sustentada de pessoa a pessoa. Este tipo de vacinação ainda não é realizado, e permanece como uma das tarefas pendentes nesta área ⁴.

Outra doença emergente que ficou famosa em muitos países

asiáticos desde o seu surgimento em 1998 é a causada pelo vírus Nipah. Em setembro de 1998, um surto de uma doença peculiar foi registrado em produtores de porcos no estado de Perak, na Malásia. Logo depois, dois outros surtos foram registrados, um na cidade de Sikamat, e outro na área de Bukit Pelandok ²⁸. Várias das pessoas que sucumbiram ao vírus eram homens diretamente associados à produção de suínos. No geral, o Nipah matou cerca de 40% das pessoas infectadas. Neste caso, os porcos funcionaram como um hospedeiro intermediário para a transmissão do vírus para humanos, através dos quais a transmissão por via aérea se tornou possível. Na Malásia, as raposas voadoras (um tipo de morcego frugívoro) que chegam nas plantações de manga durante a florada e período de colheita dos frutos podem infectar os porcos criados na região quando estes consomem os frutos contaminados com sua saliva ou com excrementos. Uma vez infectados, os porcos podem transmitir o vírus tanto entre si (principalmente naqueles lugares onde a densidade de porcos é maior) como para as pessoas, como qualquer doença respiratória ²⁹. O vírus Nipah ainda é uma ameaça importante para a saúde pública devido a seu *“amplo espectro de geográfico e de hospedeiros, sua alta letalidade, seu potencial para transmissão de pessoa-a-pessoa, e a falta de medidas efetivas de prevenção de tratamento”* ²⁹.

O trabalho realizado pelos agentes de saúde pública em Bangladesh ²⁶, na Malásia e em situações similares em outros países é extraordinário, como também é o de pesquisadores de campo e de laboratório que realizam a vi-

gilância de patógenos em animais silvestres, na produção pecuária e na população humana ^{30,31}. Todos nós dependemos deles. Mas, como veremos na próxima seção, a origem das ameaças globais representadas pelas pandemias e grandes epidemias não está restrita aos mercados úmidos e zonas rurais de muitos países. Ela está muito mais próxima de nós do que pensamos.

Fabricando organismos altamente patogênicos

La Gloria é uma pequena cidade na província de Veracruz, no México. A paisagem desolada do seu entorno, a torre do sino da igreja que acolhe as necessidades espirituais dos que são, em sua maioria, fazendeiros pobres, e a resignação estóica que transpira das paredes rachadas das casas parecem sair dos contos do livro “Planície em Chamas”, do escritor mexicano Juan Rulfo. Em uma das suas praças, há uma estátua de bronze de um menino de cinco anos, Edgar Hernandez, segurando um sapo, um símbolo da vitória contra uma das pragas do Egito. Edgar, atualmente aluno em uma escola técnica agrícola, se tornou uma efêmera celebridade mundial, em 2009. Um surto de uma síndrome respiratória que causou entre 120 mil e 250 mil mortes no mundo em apenas um ano ³² foi rastreado a ele como sendo o “paciente zero”. Essa síndrome foi posteriormente cha-

mada de (H1N1)2009 pdm, ou, simplesmente “gripe suína”, por razões que ficarão claras (apesar de provavelmente já o serem) ao leitor nesta seção.

Há muitos tipos de vírus influenza circulando em animais silvestres, a maioria aves aquáticas. Sua transmissão para seres humanos a partir dessas espécies não é uma tarefa trivial. Muitas mutações essenciais são necessárias para que vírus que se reproduzem no sistema digestivo de aves, e que são transportados pela água, possam efetivamente ser transmitidos pelo ar e infectar o sistema respiratório humano. As condições perfeitas para a seleção e propagação das mutações que possibilitaram a contaminação e propagação eficiente nos seres humanos estão presentes nos hospedeiros intermediários entre as aves aquáticas e os seres humanos: as galinhas e porcos que criamos para consumo ¹⁶. A alta densidade e grande número de animais mantidos em fazendas de criação intensiva, onde é produzida a maior parte da carne de frango e de porco vendida para a população, permitiu a mistura de diferentes cepas de influenza aviária e a combinação do seu material genético (um processo chamado “mudança antigênica”), o que repetidamente tem levado ao surgimento de vírus que também podem infectar humanos. Os porcos são especialmente aptos como hospedeiros intermediários destes vírus, já que seu trato respiratório superior contém receptores tanto para o vírus da influenza aviária (SA-alpha-2,3) quanto para o vírus suíno/humano (SA-alpha-2,6)³³.

CAMINHOS PARA UMA PANDEMIA

Mudança antigênica

As mudanças genéticas que permitem que um vírus de influenza (da gripe) seja transmitido de uma espécie a outra, incluindo humanos, podem ocorrer de 3 formas

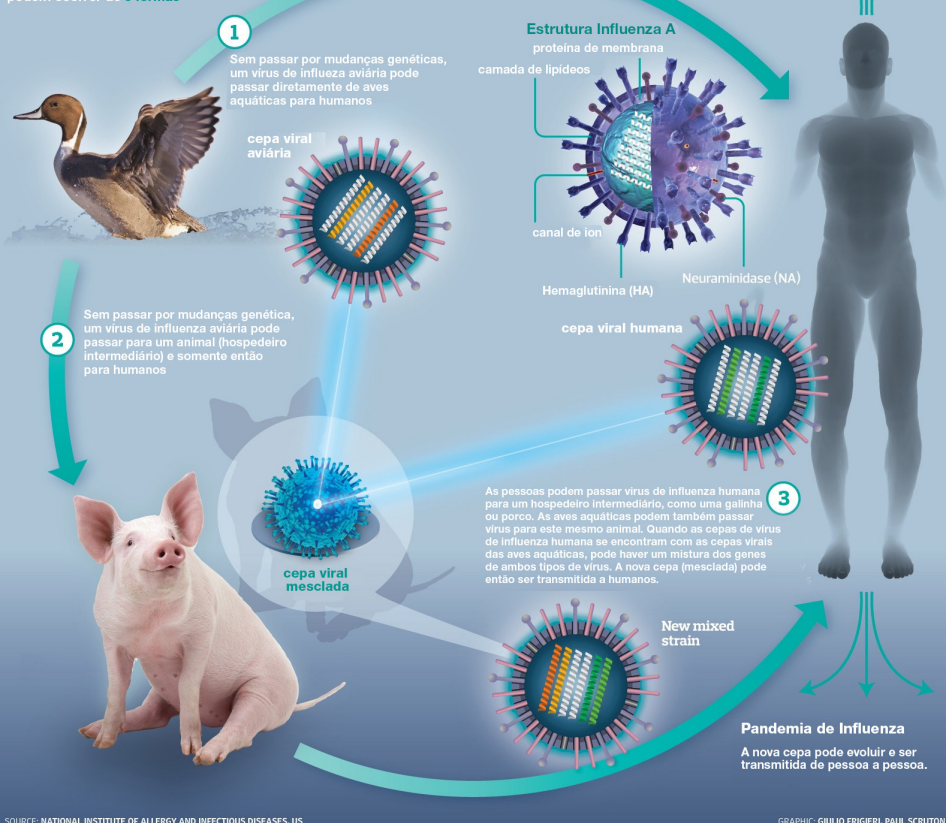


Ilustração do processo de mudança antigênica. Arte: Giulio Frigieri & Paul Scruton;
Fonte: National Institute of Allergy and Infectious Diseases.

Sistemas intensivos de criação de animais, também conhecidos como fazendas industriais, criaram o ambiente perfeito para o surgimento de cepas virais altamente patogênicas, junto com o meio ideal de infecção de seres humanos ³⁴. Como argumentado por um grupo de virologistas da Holanda e da Itália “as condições de aglomeração sem precedentes são, sem dúvida, as principais causas do surgimento e propagação de

patógenos em populações de animais de produção, permitindo a transmissão cada vez mais frequente entre essas espécies e os seres humanos”³⁵. O confinamento de um grande número de animais em altas densidades em ambientes fechados, como é típico desses sistemas, promove o desenvolvimento de altos níveis de patogenicidade de várias formas. Primeiro, ao facilitar a movimentação rápida de várias cepas de vírus de animal para animal e a consequente mistura e recombinação do seu material genético.

Além disso, animais em fazendas industriais são muito suscetíveis à infecção, permitindo aos patógenos se multiplicar rapidamente. Por exemplo, altos níveis de poluentes aéreos, como amônia e poeira fecal, que resultam naturalmente da presença do grande volume de excrementos dos animais confinados, são frequentemente encontrados nessas instalações fechadas. Como seria de se imaginar, a função respiratória dos animais e suas primeiras barreiras de defesa contra infecções acabam sendo comprometidas³⁴. Além disso, a imunossupressão causada pelo estresse crônico a que estes animais estão submetidos faz com que eles percam parcialmente a resposta imunológica que os protege contra infecções.

Finalmente, nesses sistemas de criação de animais, vírus que se tornam tão patogênicos a ponto de matar rapidamente seus hospedeiros ainda podem se disseminar: dada a alta densidade de animais e a proximidade entre eles, animais muito doentes ou mesmo mortos ainda podem transmitir o vírus. Já em criações extensivas, ao ar livre, a evolução de um alto grau de virulência é mais difícil, pois o

vírus pode deixar de se propagar assim que seu hospedeiro morre ³⁴, dado que o contato com outros animais pode ser interrompido. Além disso, a sobrevivência do vírus em um ambiente externo tende a ser menor. Por exemplo, vírus do tipo influenza são rapidamente neutralizados pela luz do sol e dessecação, prejudicando a sua capacidade de se reproduzir ³⁴.

Vale destacar que já se considerou a hipótese de que foi a concentração de um grande número de soldados estressados e imunodeprimidos nas condições insalubres dos campos de batalha e trincheiras da Primeira Guerra Mundial (condições algumas das quais parecidas com as de animais criados em sistemas de produção intensivos) que criou um ambiente propício para o surgimento da gripe espanhola de 1918. Em números absolutos, esta foi a pandemia mais mortal na história da humanidade ³⁶, matando cerca de 50 milhões de pessoas entre os estimados 500 milhões de infectados ³⁷.

É por isso que há tanta preocupação com o potencial pandêmico dos vírus influenza, como a gripe aviária H5N1, que até agora provou ter uma taxa de mortalidade altíssima, matando mais da metade dos infectados ³⁸. Um dos cenários que tira o sono de qualquer epidemiologista e agente de saúde em todo o mundo é a possibilidade de uma combinação de genes da cepa H5N1 (ou similar) com outra que permita a transmissão rápida e sustentada de humanos para humanos ^{4,16,35,36,39}. Por sorte, isso ainda não aconteceu, mas pode ser uma questão de tempo. O número de aves envolvidas em surtos de gripe aviária aumentou consideravelmente nas últimas décadas. Como vimos no caso de Bangladesh, os

vírus da gripe aviária se consolidaram nas criações avícolas de vários países asiáticos e do norte da África. A cepa H5N1, especificamente, foi uma das que mais se espalhou geograficamente e também um das mais prejudiciais, resultando na perda de milhões de aves de consumo (principalmente frangos) em 68 países ⁴⁰. Idealmente, a vacinação de trabalhadores das granjas avícolas industriais seria recomendável ⁴¹, por razões similares a comentada anteriormente para o caso dos mercados de animais vivos em Bangladesh, como uma solução de curto prazo para reduzir o risco de transmissão humana. Evidentemente, como com qualquer vacina contra a influenza, os programas de vacinação teriam que ser periódicos dados os altos índices de mutação viral, e mesmo assim a eficácia não é garantida.

Sendo uma região pouco habitada e economicamente deprimida, a área perto de La Gloria é apenas uma entre várias localidades no mundo onde fazendas de criação intensiva de animais foram implantadas. A poucos quilômetros de distância da cidade havia um enorme complexo de fazendas industriais de produção de porcos, pertencente a uma das grandes companhias norte-americanas lá instaladas depois do acordo de livre comércio Nafta. Moradores locais reclamam do forte odor que o vento traz para as suas casas — muitas vezes causando náuseas e fazendo-os vomitar e, em muitos casos, dando-lhes uma razão para mudarem de cidade ⁴². Mas, quando a brisa se transforma em tempestade, o vento leva mais do que cheiro ruim para a cidade. A matéria aerossolizada de fossas abertas, isto é, esterco líquido reduzido a pequenas gotículas, pode percorrer quilômetros (assim como as moscas das fossas

onde as carcaças de porcos mortos são deixados para se decompor ⁴²). Trata-se do mesmo esterco frequentemente pulverizado sobre as plantações como fertilizante. Pode ter sido assim que Edgar, ou um vizinho, foi contaminado, iniciando uma pandemia que, há apenas dez anos, matou milhares de pessoas, a maioria jovens adultos.

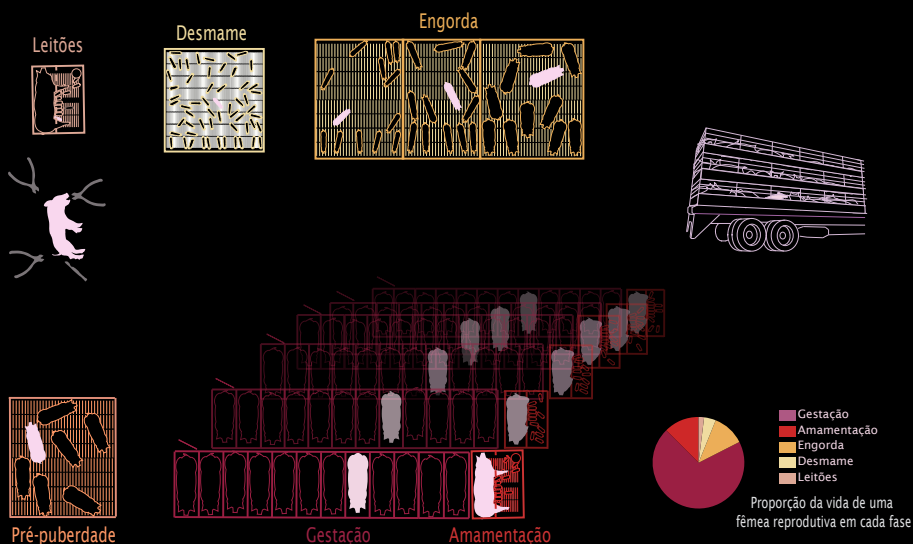
Animais como máquinas de produção extrema: fragilização ante os patógenos

Após a Segunda Guerra Mundial, uma mudança radical na forma como os animais de produção são criados teve início. O rápido crescimento populacional, o aumento dos níveis de renda e a grande demanda por carne criaram os incentivos ideais para a expansão e a intensificação da pecuária. Paralelamente, novas tecnologias de nutrição, seleção e reprodução dos animais abriram as portas para a manipulação de sua genética e fisiologia, causando impacto profundo no seu bem-estar. Ganhos de produtividade surgiram principalmente com a possibilidade de seleção de raças de crescimento mais rápido e mais produtivas, e pelo desenvolvimento de dietas elaboradas para maximizar a conversão de ração em carne, ovos e leite.

Os impactos que este processo teve no bem-estar e na saúde dos animais de produção podem ser visualizados através da descrição das alterações que ocorreram na biologia destes animais em poucas décadas. Na indústria de suínos, por exemplo, as matrizes (fêmeas reprodutoras que dão a luz aos porcos criados para consumo) podem começar a procriar

com cerca de seis meses de vida, emprenhando de duas a três vezes por ano. Em cada gestação, podem dar à luz a mais de doze leitões, que são desmamados com apenas 21 dias, em alguns casos até antes (figura a seguir). As matrizes são abatidas antes de completarem três anos (quando então são consideradas fêmeas de descarte), quando o acúmulo de problemas reprodutivos, de locomoção e metabólicos as tornam inadequadas para seguir reproduzindo.

Fases da vida de porcos de abate e fêmeas reprodutiva no sistema intensivo convencional



Fases típicas da vida de porcos de abate e fêmeas reprodutoras (matrizes) em sistemas intensivos convencionais. As fases de amamentação, pós-desmame e engorda são semelhantes para todos (parte superior do diagrama) e duram seis meses. As fases de pré-adolescência, gestação e parto são exclusivas das fêmeas reprodutoras (parte inferior da figura). Como pode ser apreciado no gráfico de pizza no canto à direita, após a pré-adolescência, as fêmeas reprodutoras passam toda sua vida restante (cerca de dois anos) em gaiolas nas quais não podem se locomover (gráfico: Wladimir JA).

Os limites biológicos dos animais de criação foram tensionados ainda mais na indústria avícola. Frangos de corte engordam em média 400 gramas (cerca de 20% do seu peso final) por semana, sendo levados para o abate com apenas 40 dias de idade. Galinhas poedeiras também foram alvos de uma seleção para produção extrema: as poedeiras de hoje botam ovos quase que diariamente, em comparação com uma frequência de cerca de um ovo por semana há não tanto tempo atrás.

Esse processo de intensificação teve um grande impacto na saúde dos animais, que agora padecem rotineiramente de várias doenças. Muitas delas são chamadas de “doenças de produção”⁴³. A maioria das galinhas poedeiras, por exemplo, sofre de osteoporose e fraturas ósseas no final de suas vidas: sua fisiologia foi tão pressionada para produzir mais ovos que uma grande proporção de cálcio é removida de seus ossos⁴⁴. Frangos apresentam diversas anormalidades articulares e claudicação. Por ganharem peso muito rapidamente, seus ossos e órgãos internos não conseguem acompanhar o ritmo de crescimento; a falência cardíaca e insuficiência respiratória também são comuns.

Aliado às consequências do processo de intensificação, o estresse crônico e agudo a que os animais de produção são submetidos os tornaram muito suscetíveis a doenças infecciosas^{45,46}. Assim como os seres humanos, os animais podem sucumbir a doenças mais facilmente quando vivendo sob estresse constante⁴⁷. É por isso que, quando estressados, ficamos mais propensos a contrair infecções respiratórias⁴⁸ e até as feridas podem demorar mais para cicatrizar⁴⁹.

As consequências do estresse no sistema imunológico são frequentemente supressivas, enfraquecendo as defesas do organismo contra ameaças externas como vírus e bactérias ^{45,46}. No caso de vírus, por exemplo, um sistema imunológico deprimido não somente facilita a sua multiplicação, mas também compromete a eficácia das vacinas usadas na prevenção de doenças ⁵⁰.

A seleção genética voltada para a produtividade piora a situação também porque a energia que o animal alocaria para sua defesa é direcionada para o crescimento e a reprodução ^{34,51}. A associação entre maior produtividade, deficiência imunológica e suscetibilidade a doenças já foi de fato verificada em várias espécies como frangos, porcos, gado de corte e vacas leiteiras ³⁴. O aumento dessa vulnerabilidade a infecções representa não somente um risco de surgimento de cepas virais de alta patogenicidade como já comentamos, mas também, como veremos adiante, um grande risco para a segurança alimentar, aumentando a probabilidade de ocorrência de doenças causadas por patógenos entéricos como *Escherichia coli*, *Salmonella*, e *Campylobacter* ⁵².

Biosegurança

Apesar das grandes instalações de produção de animais para consumo contarem com protocolos de biossegurança para prevenir e controlar a transmissão de doenças infecciosas, a grande quantidade de produtos secundários desses sistemas (excrementos, animais vivos e mortos, e seus

fluidos corporais), somada a fatores como a dependência de diversos atores na cadeia de produção, o transporte nacional e internacional de animais vivos, e a possibilidade de contaminação dos produtos de origem animal durante o abate e processamento, fazem com que seja pouco provável que essas medidas sejam suficientes, mesmo que fossem rigidamente implementadas.

E não são. A baixa adoção de medidas de biossegurança é, com raras exceções, um problema endêmico na indústria pecuária. Sempre que realizadas, pesquisas baseadas em entrevistas com produtores revelam de forma consistente diversas falhas nas práticas de biossegurança, mesmo em países onde se esperaria um maior grau de cumprimento das regras, como na Suécia, Canadá, Estados Unidos e Austrália ⁵³⁻⁵⁶. Isso é ainda mais preocupante já que o grau de adesão aos protocolos de biossegurança é muitas vezes superestimado nessas pesquisas, com uma grande lacuna entre a observância alegada pelos produtores e as ações realmente adotadas nas fazendas e abatedouros ⁵⁷.

A situação é pior em regiões com escassez maior de recursos, onde um grande número de fazendas não consegue adotar nem mesmo padrões mínimos de segurança. A adoção de práticas de biossegurança não somente é cara, mas também exige que produtores e funcionários compreendam claramente diretrizes técnicas e protocolos de comportamento. Práticas de alto risco, como o descarte inadequado de carcaças de animais, são comuns em muitos lugares. Por exemplo, durante uma série de surtos de gripe aviária altamente patogênica no Egito, uma investigação conduzida

por pesquisadores da Organização para a Agricultura e Alimentação das Nações Unidas (FAO) descobriu que os meios usuais para o descarte de carcaças de frango incluíam o seu uso para a alimentação de cães e o descarte de aves mortas em cursos d'água da região. Alguns criadores relataram até a venda de aves doentes para consumo humano ^{57 57}.

É improvável que essas práticas sejam exceções, especialmente à luz do grande número de animais que morrem antes de serem abatidos. Por exemplo cerca de 4 milhões de porcos são abatidos por dia para alimentação no mundo. As taxas de mortalidade pré-abate na indústria são de 5-10% durante o período de aleitamento, 3% após o desmame e outros 3% durante a engorda ⁵⁸. Isso se traduz em cerca de meio milhão de carcaças de porcos mortos por dia que devem ser descartadas. Nas granjas avícolas, os números são ainda mais impressionantes: mais de 165 milhões de frangos são abatidos diariamente para a produção de carne. Considerando uma taxa de mortalidade de 5%, mais de oito milhões dessas aves morrem por dia antes de serem abatidas. Nem todas as fazendas contarão com os meios adequados para garantir que as carcaças (muitas vezes de animais doentes) sejam descartadas segundo os padrões adequados de biossegurança. A situação fica ainda mais grave durante períodos de surtos de doenças infecciosas, quando o número de animais que precisam ser sacrificados frequentemente excede a capacidade das instalações de descarte e reciclagem. Nesses casos, é comum o descarte de centenas de animais em aterros.

Contaminação alimentar

O Professor David Rogers, diretor do TALA (Trypanosomiasis And Land-use in Africa), um grupo de pesquisa da Universidade de Oxford, foi pioneiro no uso de uma técnica amplamente utilizada por engenheiros (análise de Fourier) para analisar a sazonalidade de doenças infecciosas como a malária e a doença do sono africana. O grupo aplicava essa técnica para explorar as causas ambientais de mudanças temporais no número de casos e mortes por essas doenças, usando imagens de satélite e dados meteorológicos. Interessada nessa técnica, uma equipe de pesquisadores do Departamento de Epidemiologia da Universidade de Wales buscou ajuda desse grupo de pesquisa em 2003, quando um de nós estava terminando sua tese de doutorado no TALA. Os pesquisadores de Wales tinham dados sobre casos de infecções humanas pela bactéria *Campylobacter*, coletados em 85 distritos de saúde na Inglaterra e no País de Gales durante vários anos, e queriam entender porque o número de infecções aumentava durante a primavera e o verão, já que isso poderia ajudar a desenvolver melhores políticas de prevenção.

A *Campylobacter* é a causa principal de doenças de origem alimentar no Reino Unido, afetando mais de 300 mil britânicos anualmente ⁵⁹. Também é a causa mais comum de gastroenterite bacteriana humana no mundo ⁶⁰. Apesar de os sintomas dessa infecção geralmente se restringirem a desconforto intestinal e cólicas abdominais, em alguns casos as complicações da doença podem ser fatais. Além

disso, como as proteínas da superfície celular dessa bactéria (as quais permitem a sua adesão aos tecidos de seus hospedeiros) são muito similares às de tecidos cartilagosos humanos, em alguns casos o sistema imunológico dos pacientes infectados é desregulado, passando a atacar suas próprias articulações e levando ao surgimento de artrite crônica. Proteínas de superfície similares também existem na bainha de mielina dos nervos. Se essa camada isolante em torno dos nervos é atacada pelo sistema imunológico, os pacientes desenvolvem a Síndrome de Guillain-Barré, uma paralisia progressiva do corpo e do sistema respiratório.

Frangos são hospedeiros naturais da *Campylobacter*. Quando uma ave é abatida, é muito difícil evitar a contaminação dos seus músculos, sangue e ossos com o conteúdo intestinal e matéria fecal. Por isso, para evitar a contaminação cruzada das superfícies da cozinha e de outros alimentos, recomenda-se não lavar a carne de frango antes de cozinhá-la, para não espalhar ainda mais a bactéria pela carne e para outras partes da cozinha ^{61,62}. Mas, se a maioria dos casos de infecção estaria associada ao consumo e o manuseio de frangos ⁵⁹ (apesar da contaminação também ser possível por meio de carne vermelha e leite), por que o número de contaminações por *Campylobacter* aumentaria durante alguns meses do ano, quando a demanda por carne de frango não era particularmente alta? O que explicaria esta relação?

Apesar de todas as análises e da observação cuidadosa dos dados de satélite e meteorológicos, não conseguimos explicar porque as infecções eram mais frequentes em certas épocas do ano. Uma solução elegante a esse mistério veio

mais tarde a partir de um estudo que, utilizando o mesmo conjunto de dados, mostrava que o aumento da população de moscas durante a primavera e verão estava levando à contaminação cruzada de alimentos ⁶³. Ao terem acesso a vários tipos de alimentos (principalmente nos meses mais quentes, quando as pessoas abrem suas janelas e preparam churrascos no quintal), esses insetos estavam contaminando outros produtos alimentícios (muitos ingeridos crus) da mesma forma que a contaminação ocorre quando a salada é preparada com os mesmos utensílios utilizados para cortar carne de frango crua. Também foi sugerido que moscas seriam uma fonte da contaminação em granjas avícolas ⁶⁴. Como nos informou recentemente o Dr. Gordon Nichols, autor do estudo, *“Infelizmente o estudo da transmissão de doenças infecciosas por moscas é uma área relativamente negligenciada por microbiólogos e epidemiólogos, apesar de ser uma área de interesse em saúde”*.

Praticamente todos os alimentos, quando estragados, contém toxinas e/ou patógenos que podem causar doenças. Alguns produtos também precisam de um processamento cuidadoso para se tornarem adequados ao consumo (a mandioca, terceira fonte mais importante de calorias nos trópicos, libera cianeto, uma substância mortal, quando não é adequadamente processada) ⁶⁵. Mas quando falamos de infecções humanas causadas pelo consumo e manuseio de alimentos, produtos oriundos de animais dominam a cena ⁶.

Antes da descoberta da onipresença dos microrganismos, e da implementação dos padrões de saneamento e higiene que

a maioria de nós usufrui hoje em dia, praticamente todos os alimentos eram veículos de muitos patógenos. Muitas eram as oportunidades para que estes organismos contaminassem cascas de frutas, superfícies vegetais, carnes e peixes durante as atividades de produção, transporte, entrega, venda e processamento dos alimentos. Nós, seres humanos, contávamos com pouco mais do que a seleção natural para combater estes patógenos, já que muitas pessoas morriam (a maioria crianças) por causa de infecções alimentares. Foi somente com a adoção de hábitos de higiene pessoal e na cozinha (fomentados pelo conhecimento da existência de microorganismos e progressos como água encanada) que patógenos que ‘pegavam carona’ na superfície de alimentos puderam ser eliminados através da simples lavagem dos alimentos (sem dúvida, um grande avanço em termos de saúde pública).

Mas e o que dizer dos patógenos que vivem mais entrincheirados nos alimentos, dentro das cavidades corporais ou dos tecidos dos organismos que utilizamos como comida? Aí as coisas ficam mais complicadas. Como vimos no caso da carne de frango contaminada com *Campylobacter*, a lavagem é na verdade o contrário do que devemos fazer. Para ludibriar as defesas internas dos hospedeiros, muitos patógenos usam processos moleculares sofisticados. Como regra geral, quanto mais perto estivermos de um outro organismo em termos evolutivos, mais fácil será para esse organismo nos infectar. E aqui reside a razão pela qual infecções de origem alimentar são frequentemente associadas a produtos de origem animal: os seres humanos são

muito mais próximos, evolutivamente, de animais do que de plantas. É extremamente difícil para um vírus, bactéria ou qualquer patógeno adaptado para infectar células e estruturas vegetais atacar células e tecidos humanos. Naturalmente, diante da fantástica diversidade de formas de vida, podemos encontrar algumas exceções.

Uma delas é a *Salmonella*, um gênero de bactéria capaz de infectar praticamente qualquer organismo que possua um trato intestinal. A *Salmonella* é responsável por mais de 50 mil mortes por ano derivadas do consumo de ovos, carne de frango ou porco contaminados ⁶⁶. No entanto, alguns tipos de *Salmonella* podem, em circunstâncias muito específicas, infectar plantas ⁶⁷. Mas não se enganem: quando ouvirem notícias sobre a descoberta de *Salmonella* em frutas ou vegetais, ou de um surto de *E. coli* em alface, podem ter certeza que ela provém do intestinos de animais, atingindo estes outros alimentos por vias como, por exemplo, o uso de esterco como adubo, a contaminação de corpos d'água com dejetos da produção pecuária ou pelo contato (direto ou indireto) com produtos de origem animal.

O processo de decomposição que se segue inevitavelmente à morte (quando as defesas dos organismos são desligadas, permitindo a colonização de micróbios oportunistas), é outra razão pela qual é muito mais fácil que um produto animal seja infectado por patógenos, se comparado aos vegetais. Os grãos, folhas, frutas, raízes, tubérculos e talos que consumimos estão, na maioria das vezes, ainda vivos, já que suas células e tecidos não dependem tanto da inte-

gridade do organismo inteiro para continuar funcionando. Em muitos casos, é possível até fazer germinar uma nova planta a partir deles. Mas o desafio para desacelerarmos artificialmente a decomposição do corpo de um animal começa no momento em que o abatemos. Não surpreende assim o fato de que a maioria das técnicas de preservação de alimentos desenvolvidas na história da humanidade – a defumação, condimentação, cozimento, salga, secagem, incineração, fermentação, pasteurização, refrigeração – tenha sido desenvolvida para produtos de origem animal.

E claro, uma fonte importante de contaminação da carne é através do processo de evisceração nos matadouros, onde os órgãos internos, especialmente os da cavidade abdominal, são removidos. Como já comentado para o caso do frango, carnes vêm de animais que tinham intestinos, e não é fácil garantir que a matéria fecal não contamine as carcaças (interna ou externamente) ^{68,69}.

Mesmo produtos de origem animal que não derivam diretamente de carnes de animais abatidos, como leite e ovos, precisam de cuidados especiais para evitar a contaminação causada pela sua decomposição. O leite, por exemplo, é um fluido corporal que não foi feito para permanecer no ambiente externo por muito tempo, e sim para ser transferido diretamente da mãe à sua prole. Assim, algumas culturas encontraram meios de estender a durabilidade do leite em ambientes externos através de diferentes processos, como sua coagulação e desidratação na forma de queijos. Outras espécies animais encapsularam os nutrientes necessá-

rios para o crescimento de seus filhotes (chamamos estas ‘cápsulas’ de ovos), permitindo o seu desenvolvimento no ambiente externo. No entanto, logo que o conteúdo do ovo é liberado, o processo de decomposição é ainda mais rápido do que o da maioria dos outros produtos de origem animal (essa é a razão pela qual devemos comer maionese caseira imediatamente, a não ser que seja preparada com ovos pasteurizados, irradiados ou cozidos – ou, é claro, sem ovos).

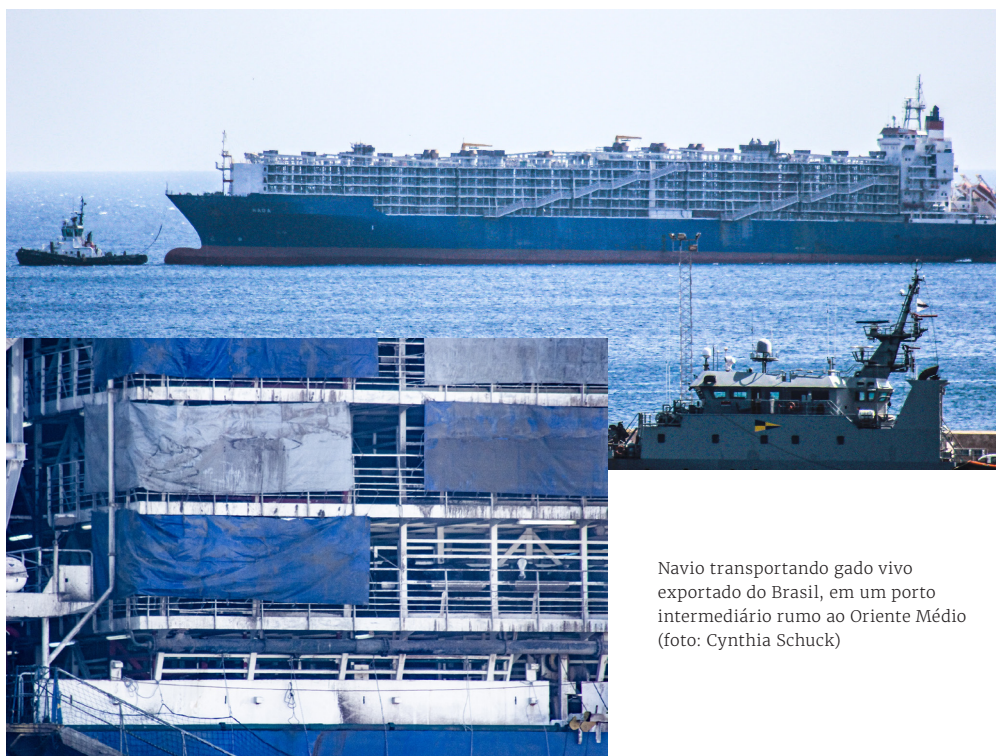
O impacto das infecções de origem alimentar na saúde global está longe de ser negligenciável. Estimou-se que, somente em 2010, as contaminações alimentares de todos os tipos causaram mais de 600 milhões de infecções, resultando em 420 mil mortes em todo o mundo. Ou seja, mesmo não sendo (pelo menos, por enquanto) a causa de pandemias, elas tem um custo em vidas humanas similar às principais doenças infecciosas, como o HIV/AIDS, a malária e a tuberculose ⁷⁰.

Transporte de Animais Vivos

Nas últimas décadas, as exportações de animais vivos cresceram expressivamente. Em 2017, quase 2 bilhões de animais foram transportados em navios ou caminhões, viajando por períodos que se estenderam de horas a semanas ⁷¹. Como podemos imaginar, a aglomeração de animais de várias origens em ambientes pequenos, mal ventilados e estressantes por longos períodos cria as condições ideais para a propagação de doenças infecciosas ⁷². E lamentavelmente, os sistemas de vigilância existentes “*não são adequados para*

identificar patógenos de animais em deslocamento” ⁷³.

Não somente os patógenos viajam com os animais, mas a infecção de animal para animal é facilitada pelos efeitos imunossupressores causados pelo estresse. Como discutido anteriormente, o estresse fragiliza o sistema de defesa dos hospedeiros, facilitando a multiplicação de patógenos. Além disso, nessas viagens os animais ficam em constante contato com seus excrementos e os de seus companheiros, aumentando ainda mais a probabilidade de infecções. Para piorar a situação, o transporte por longas distâncias pode aumentar a liberação de patógenos pelas fezes (como *Salmonella* e *Escherichia coli*), presentes nos intestinos dos animais ⁷². Em geral, quanto maior o estresse ao qual um animal é submetido, maior é a probabilidade que altos níveis de patógenos sejam encontrados em suas fezes ^{52,74}.



Navio transportando gado vivo exportado do Brasil, em um porto intermediário rumo ao Oriente Médio (foto: Cynthia Schuck)

Como seria de se prever, o comércio de animais tem sido uma forma importante de introdução e disseminação de doenças infecciosas de origem animal em diversas regiões. Por exemplo, o movimento de cargas vivas e seus produtos é um dos principais motores da disseminação da febre aftosa entre países ⁷⁵, uma doença altamente contagiosa que afeta diversas espécies, especialmente gado. Da mesma forma, há registros de que a introdução da encefalopatia espongiforme bovina (conhecida como a “doença da vaca louca”) no Canadá teria ocorrido através da exportação de bois infectados para aquele país ⁷⁶.

Ainda assim, os maiores riscos de saúde relacionados ao transporte de animais vivos possivelmente relacionam-se à disseminação de cepas virais altamente patogênicas. Por exemplo, uma análise abrangente de dados genéticos demonstrou que as rotas de comércio global de porcos vivos determinam a distribuição geográfica do vírus da influenza do tipo A nesses animais ⁷⁷.

Perdendo a batalha para as infecções: a resistência a antibióticos

Em fazendas intensivas de criação de porcos, filhotes são separados de suas mães, ou mães adotivas, com apenas três semanas de vida, muito antes da sua idade de desmame natural, de aproximadamente três meses e meio⁷⁸ (gráfico

da página 27). Esse é um momento de muito estresse para estes animais, já que há uma mudança brusca de ambiente, a exposição a novos patógenos, as brigas causadas pela mistura repentina de várias ninhadas, e a rápida mudança de dieta em uma fase onde seus sistemas digestivos e imunológicos ainda estão imaturos⁷⁹. Consequentemente, muitos porcos nessa fase sofrem de diarreia severa, em alguns casos fatal. Para reduzir o problema, os criadores frequentemente adicionam antibióticos (muitos de valor terapêutico também em humanos) à dieta de todos os animais⁸⁰.

O desmame precoce abrupto descrito acima é uma das várias práticas adotadas nas criações intensivas de porcos que aumentam o risco de infecções. As circunstâncias e etapas da vida podem ser diferentes e os riscos variam, mas o risco está presente em todo o processo de produção. O mesmo pode ser dito sobre outras espécies criadas de forma intensiva — de peixes ao gado, de codornas a frangos⁸¹. Assim, os antibióticos, um tesouro da medicina, são usados diariamente em bilhões de animais para prevenir infecções resultantes de condições sanitárias precárias, de sua aglomeração em altas densidades e da fragilidade na saúde de animais selecionados geneticamente, como já comentado, para produtividade máxima. E o que há de errado nisso? Veremos a seguir.

Antes da descoberta dos antibióticos, a humanidade vivia em um mundo muito diferente. A figura a seguir mostra um quadro do pintor Venezuelano Cristobal Rojas, um homem que viveu atormentado pela perda de vários entes queridos para a tuberculose, ele mesmo morrendo da doença

em 1890, com apenas 32 anos. Naquela época, os únicos “tratamentos” disponíveis para a tuberculose eram banhos de sol e ar fresco. Desde há cinco mil anos até a primeira metade do século 20 a tuberculose matou mais gente do que qualquer outro patógeno ⁸². Na virada do século passado, uma em cada sete pessoas na Europa e nos EUA morriam da doença. Outras doenças infecciosas, como a pneumonia, somavam-se a estes números, acometendo praticamente todas as famílias, ricas ou pobres, instruídas ou não. Até mesmo um corte simples, se infectado, podia causar uma septicemia fatal. Cirurgias eram quase impossíveis. Dar à luz era uma roleta russa, já que as infecções perinatais não tinham como ser tratadas. Os hospitais eram locais de caridade, proporcionando um teto, comida e algum conforto para pobres e solitários, mas que pouco podiam fazer para tratar doentes em estado crítico. As mortes prematuras eram parte inevitável da vida, afetando a praticamente todas as famílias, de camponeses a reis. Infelizmente, isso ainda é uma realidade em algumas regiões pobres do mundo, onde a população ainda não tem acesso a antibióticos ⁸³.

Tudo isso mudou em 1928 com a descoberta da penicilina por Alexander Fleming. O tratamento de feridas e infecções, as cirurgias, transplantes e procedimentos como quimioterapia se tornaram possíveis. Junto com outros avanços, como a descoberta de vacinas e o saneamento básico, os antibióticos abriram o caminho para o mundo como conhecemos hoje.

Mas o poder terapêutico dos antibióticos no combate a infecções está se erodindo com uma velocidade alarmante. O surgimento de bactérias com resistência antimicrobiana

é, atualmente, considerado uma das maiores ameaças à saúde global ^{4,81,84}. Grande parte dos patógenos que causam muitos problemas médicos graves, ou complicações dessas condições – como a tuberculose, várias doenças sexualmente transmissíveis, pneumonias, infecções urinárias e hospitalares – tornaram-se resistentes a uma ampla gama de



'A Miséria' (1886) por Cristóbal Rojas Poleo mostra um marido que perdeu suas esposa para a tuberculose (imagem de domínio público)

antibióticos. De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS) “*o mundo está caminhando para uma era pós-antibióticos, na qual infecções comuns poderão novamente matar*”. Essa é uma possibilidade que já vem se concretizando: cerca de 700 mil mortes ao ano já ocorrem por infecções resistentes a antibióticos e se as tendências seguirem assim se estima que em 2050 tenhamos 10 milhões de mortes ao ano por infecções resistente a antibióticos, mais do que câncer ou diabetes⁸⁵. Assim como no caso de pandemias e surtos de doenças infecciosas, a resistência antimicrobiana é uma importante ameaça para a economia global. Uma revisão comissionada pelo Reino Unido estimou esse custo em 100 trilhões de dólares⁸⁶. Nossa experiência com a pandemia de coronavírus de 2019/2020 demonstra que as consequências econômicas desastrosas para a economia não permitem negligenciarmos riscos de biossegurança.

Como as bactérias se tornam resistentes?

As bactérias existem neste planeta há cerca de 3,5 bilhões de anos, podendo evoluir e adaptar-se às mais diversas condições com uma velocidade alarmante. Elas se reproduzem por meio de um processo conhecido como “fissão binária”, em que a célula bacteriana se divide em duas células filhas. Em condições favoráveis, algumas bactérias podem se dividir a cada 20 minutos. Se fizermos os cálculos, isso significa que uma bactéria poderia, em teoria, multiplicar-se em 2.097.152 bactérias em sete horas!

Mas não é somente transmitindo sua herança genética (e mutações ocasionais) a seus descendentes que as bactérias se propagam e evoluem. Esses organismos invisíveis também são capazes de incorporar material genético de outras bactérias e do meio ambiente em sua própria estrutura genética. Uma das formas mais eficientes através da qual isso ocorre é pela transferência direta de informação genética através de pedaços circulares de DNA (chamados plasmídeos) que ficam fora dos cromossomos e que podem se transferir de uma bactéria doadora para outra receptora quando elas entram em contato. Isso confere às bactérias uma espécie de super-poder, que permite que elas se adaptem rapidamente a várias condições. É por isso que encontramos bactérias em locais onde ninguém mais ousaria viver, sob calor extremo, frio extremo, acidez e radiação. O peso total da bactéria na Terra é, na verdade, maior do que o peso de todos os animais e plantas somados ⁸⁷. Nosso próprio corpo carrega mais bactérias do que células humanas ⁸⁷, a maioria delas sendo essenciais para nos manter saudáveis.

Os antibióticos entram então em jogo para tratar doenças causadas por bactérias nocivas (patogênicas). Eles agem de diversas formas, por exemplo matando as bactérias diretamente ou reduzindo sua capacidade de se reproduzir. No entanto, eles se tornam ineficientes se as bactérias encontram formas de combater seus mecanismos de ação, por exemplo mudando sua estrutura de forma que o antibiótico não as reconheça mais, ou neutralizando diretamente (digerindo) o antibiótico. Essas habilidades são adquiridas fortuitamente, através de mutações ou pela incorporação

de genes de outras bactérias que as possuem. Quanto maior a exposição a antibióticos, maiores são as chances de que as habilidades que conferem “resistência” aos antibióticos se propaguem.



Desenvolvimento de resistência a antibióticos. Ilustração do Centro de Prevenção e Controle de Doenças, (CDC) dos Estados Unidos (domínio público).

Por que a resistência a antibióticos está se espalhando tão rapidamente?

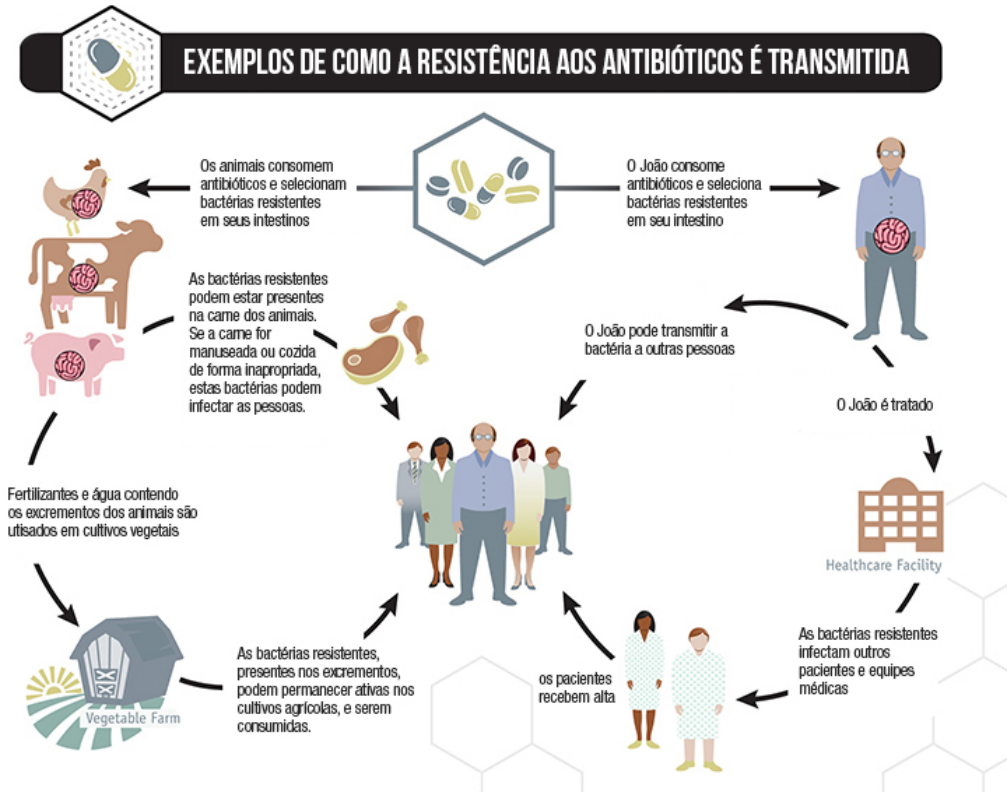
Dado que as bactérias se adaptam rapidamente a condições adversas, é natural que a resistência antimicrobiana (ou seja, a habilidade das bactérias sobreviverem e se multiplicarem na presença de antibióticos) seja selecionada quando elas são expostas a antibióticos. O problema é que nós aceleramos esse processo através do uso inadequado e excessivo desses medicamentos. Nos EUA, por exemplo, o Centro de Prevenção e Controle de Doenças (CDC) estimou que 30% das receitas médicas de antibióticos emitidas nos

consultórios médicos e nas emergências de hospitais são desnecessárias⁸⁸.

No entanto, apenas garantir o uso responsável de antibióticos na medicina humana não resolverá o problema. Mais de 70% dos antibióticos vendidos no mundo não são usados em pessoas, mas em animais criados em fazendas intensivas⁸⁹. Nesses sistemas, o objetivo principal dos antimicrobianos não é o tratamento de animais doentes. Na verdade, eles são rotineiramente usados para outros fins. Primeiro, os antibióticos são amplamente usados para promover o crescimento dos animais de produção, sendo adicionados à ração ou a água em doses sub-terapêuticas (doses mais baixas que as prescritas para tratamento). Os mecanismos através dos quais os antibióticos fazem os animais crescerem mais não são inteiramente conhecidos, mas algumas pesquisas sugerem que eles agem matando uma fração das bactérias intestinais que competem por nutrientes com os animais, além de matar bactérias intestinais nocivas que desaceleram o seu crescimento ao causar doenças subclínicas (doenças sem sintomas evidentes)^{81,90,91}. A idéia por trás do uso de antibióticos como promotores do crescimento é controlar a flora bacteriana dos animais para tornar sua digestão mais eficiente, usando toda a energia possível para o crescimento.

Antibióticos também são usados profilaticamente para prevenir infecções e garantir que os animais sobrevivam até a idade do abate sob as condições existentes nos sistemas de produção intensiva^{81,90}. Como abordamos em seções anteriores, as condições de vida nesses lugares criam o ambiente ideal para a propagação rápida de infecções. Daí, portanto,

a necessidade de prevenir doenças, e os antibióticos acabam sendo um meio barato para esse fim.



Exemplos de como a resistência aos antibióticos se espalha. Ilustração do Centro de Prevenção e Controle de Doenças (CDC) dos Estados Unidos (domínio público)

O uso da colistina nas criações de porcos é ilustrativo. Depois de anos de uso deste antibiótico em larga escala nas criações, um gene hospedado no plasmídeo (o “mcr-1”), que torna as bactérias que o possuem resistentes à colistina, foi encontrado em amostras provenientes de criações

de porcos na China⁹², e, desde então, em outros países⁹³. Isso fez soar o alarme na comunidade científica, diante da possibilidade da perda da eficácia da colistina para tratar infecções humanas resistentes a múltiplos antibióticos, já que este antibiótico é uma das últimas linhas de defesa contra muitas doenças potencialmente fatais que acometem os seres humanos⁹⁴. Como veremos na próxima seção, há muitas maneiras pelas quais a resistência a antibióticos pode passar dos alimentos de origem animal para os seres humanos e, infelizmente, no caso da colistina, não foi diferente. Desde que foi rastreado até às fazendas de porcos na China⁹⁵, o gene *mcr-1* foi encontrado em populações humanas em vários locais^{96,97}.

Com a intensificação dos sistemas de produção animal nos países em desenvolvimento, a resistência aos antibióticos comumente usados na pecuária também cresceu, e continua crescendo, rapidamente. Países como a China, o Brasil e o Quênia, onde a produção de carne aumentou drasticamente nas últimas décadas, são, atualmente, *hotspots* de resistência antimicrobiana na indústria pecuária⁸⁹. De uma forma geral, do ano 2000 ao ano 2018, a proporção de antibióticos com taxas de resistência maior do que 50% aumentou três vezes em galinhas e porcos⁸⁹ — atualmente, cerca de um terço dos antibióticos já não funcionam 50% das vezes em que são usados em frangos, enquanto um quarto dos antibióticos não funciona 50% das vezes em porcos. Essas altas taxas de resistência estão sendo agora observadas nos antibióticos mais usados em animais, muitos dos quais são essenciais para tratar humanos também⁸⁹.

Antibióticos fundamentais para a medicina humana também são amplamente usados nas fazendas intensivas de criação de peixes (aquicultura), uma das indústrias que cresce mais rapidamente no planeta. Nessas criações, onde podemos encontrar mais de 100 quilos de peixe por metro cúbico de água ⁹⁸, doenças infecciosas causadas pela grande densidades de animais, baixa qualidade da água e estresse crônico são controladas através da adição de altas doses de antibióticos na água. Da mesma forma que outros sistemas de criação intensiva, a criação intensiva de peixes foi identificada como um dos “hotspots” de resistência bacteriana⁹⁹. Uma pesquisa de 2015¹⁰⁰ demonstrou que a maioria dos antibióticos usados na aquicultura também são importantes para a medicina humana.

Resistência a antibióticos: o caminho dos animais aos humanos

Em 2014, o então primeiro ministro inglês, David Cameron, comissionou uma ampla investigação científica sobre o fenômeno de resistência antimicrobiana⁸⁵. A idéia era analisar as evidências existentes sobre o aumento da resistência a antibióticos e propor ações para combater o problema em nível global. Dos 139 estudos científicos que a pesquisa analisou, a maioria encontrou uma associação clara entre o uso de antibióticos em animais e a resistência a antibióticos em pacientes humanos⁸⁶.

Vejamos o exemplo da *Escherichia coli* ST131, responsável por milhões de infecções todos os anos e que, infelizmente, se tornou resistente a vários antibióticos¹⁰¹. No período de um ano, um grupo de pesquisadores coletou amostras de carne de frango e porco vendidas em nove redes de supermercados em Flagstaff, uma pequena cidade relativamente isolada e cercada de montanhas no estado do Arizona, nos Estados Unidos. Simultaneamente, eles coletaram bactérias isoladas na urina e no sangue de pacientes diagnosticados com infecções extra-intestinais (por exemplo no trato urinário), e que haviam sido enviadas para o Flagstaff Medical Center para análise. Eles descobriram que a mesma cepa de *E.coli* ST131 estava presente tanto nas amostras de carne como nas dos pacientes. Pouco tempo antes, em uma cidade muito mais populosa do outro lado do globo (Hyderabad, na Índia), um grupo de pesquisa havia também mostrado que cerca de metade das amostras de carne de frango vendidas nos supermercados locais eram contaminadas com uma superbactéria similar¹⁰².

Um outro exemplo vem do Brasil. A bactéria *Staphylococcus aureus* resistente à meticilina (conhecida como MRSA) é uma causa comum de infecções de pele entre atletas, nas escolas e em quartéis do exército, sendo também encontrada em alguns pacientes hospitalizados com pneumonia¹⁰³. No Brasil, a MRSA foi identificada em amostras de leite de vacas leiteiras com mastite^{104,105}, uma inflamação nas glândulas mamárias geralmente causada por infecções. Isso significa não só que vacas com mastite não respondem ao tratamento com meticilina, mas também que esse antibiótico é ineficaz

para tratar pessoas infectadas com a MRSA (por exemplo através do consumo de leite não pasteurizado).

Infelizmente, a constatação da presença de cepas bacterianas resistentes a antibióticos em alimentos de origem animal foi feita em quase todos os artigos publicados sobre o assunto. No geral, esses estudos mostram que essas bactérias são resistentes a vários dos antibióticos que a Organização Mundial da Saúde considera importantes para a saúde humana ¹⁰⁰.

Citando mais alguns exemplos nada encorajadores, cepas de bactérias resistentes a vários antibióticos, incluindo espécies de bactérias responsáveis por casos de broncopneumonia e pela formação de pedras nos rins, foram identificadas em amostras de carne de porco e frango vendidas em sete supermercados tradicionais no estado de São Paulo ^{106,107}. Na China, um grupo de pesquisadores demonstrou que os genes que tornam a bactéria *E.coli* resistente a antibióticos eram idênticos nas bactérias que foram isoladas em amostras de carne e em pacientes em Guangzhou (a terceira maior cidade do país) ¹⁰⁸. Na mesma cidade, um gene com resistência à linezolida, a mais recente opção de tratamento contra infecções causadas por MRSA, por *Enterococci* resistente à vancomicina e *Streptococcus* resistentes à penicilina, foi encontrado em carnes de frango e porco vendidas nos supermercados locais ¹⁰⁹. Nos Estados Unidos, 75% das bactérias encontradas pelo FDA (a agência equivalente à EMA na Europa ou ANVISA no Brasil) em carnes vendidas em supermercados eram resistentes a antibióticos ¹¹⁰.

Evidentemente, a possibilidade de infecção por superbactérias também representa um perigo para veterinários, fazendeiros, trabalhadores em abatedouros e frigoríficos, bem como açougueiros e quaisquer profissionais que trabalham com o manuseio de produtos pecuários, que podem ser contaminados pelo contato direto com a carne dos animais ou seus fluidos corporais (como sangue, urina, fezes e saliva)⁸¹. Por exemplo, constatou-se que o risco de infecções por um tipo de MRSA associada a animais de produção (LA-MRSA) é muito maior em veterinários em contato com porcos ¹¹¹.

A contaminação ambiental é outra rota possível de infecção. As bactérias excretadas na urina e fezes dos animais ainda estão em sua forma ativa ^{112,113}. Isso cria um problema enorme, já que bactérias resistentes (além de antibióticos ainda ativos e seus resíduos) contaminam cursos d'água, o solo e cultivos agrícolas através do uso de esterco como fertilizante. Infelizmente, os três principais órgãos das Nações Unidas que deveriam coordenar esforços para a resolução deste problema — a Organização Mundial da Saúde (OMS), a Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO) e a Organização Mundial da Saúde Animal (OIE) — ainda não implementaram muitas das medidas de coordenação entre si necessárias; por exemplo, os bancos de dados que monitoram a presença de resistência antimicrobiana em animais e humanos ainda não estão integrados, mesmo uma década após o estabelecimento da “Aliança Tripartite”, dificultando assim a transferência rápida de informação entre essas agências e o resto do mundo. Existem alguns sinais de que talvez isto finalmente comece a mudar ¹¹⁴

Impacto Econômico

O impacto das pandemias, epidemias, das infecções alimentares e da erosão do poder dos antibióticos em termos de sofrimento humano e perda de vidas não advém somente de seus efeitos diretos na saúde das pessoas afetadas. Uma pandemia, como estamos presenciando ao vivo, destrói empregos e a capacidade de investimento público, o que por sua vez leva a mais sofrimento e mortes, ainda que mais tardias e menos evidentes. Os mais pobres e vulneráveis acabam sofrendo desproporcionalmente mais com as consequências econômicas desses eventos. Um estudo do Banco Mundial mostrou, por exemplo, que os choques econômicos em países em desenvolvimento levam a um aumento importante da mortalidade infantil, tanto mais quanto maior a severidade dos choques¹¹⁵.

O Banco Mundial havia estimado que uma pandemia de influenza similar a da gripe espanhola de 1918 poderia custar à economia mundial cerca de 3 trilhões de dólares americanos, ou até 4,8% do Produto Interno Bruto (PIB). No caso de um vírus de menor patogenicidade, os custos cairiam para cerca de metade desse valor¹¹⁶. Ainda assim, essas estimativas ficaram tímidas e otimistas diante dos possíveis estragos que a pandemia de coronavírus de 2020 trará a economia mundial. De acordo com uma primeira análise da Organização Internacional do Trabalho¹¹⁷, a força de trabalho global poderia perder 3,4 trilhões de dólares em renda em 2020 devido ao surto (um valor correspondente à

soma do PIB do Brasil e o Canadá juntos), com o aumento do desemprego ultrapassando aquele causado pela crise financeira global de 2008–2009, segundo alguns cenários simulados.

Certamente nesta equação o prejuízo econômico global já causado pela resistência antimicrobiana, pelas zoonoses e infecções alimentares também deveria ser considerado. Somente nos Estados Unidos, a resistência a antibióticos tem um custo anual de 20 bilhões de dólares em despesas médicas e mais de 35 bilhões em perda de produtividade no trabalho¹¹⁸.

Um breve resumo da nossa história com os animais

Os animais têm servido o homem moderno e nossos ancestrais por centenas de milhares de anos. Marcas de cortes encontradas em ossos indicam a busca por restos de carne e de tutano em carcaças de animais mortos por outros animais já há três milhões de anos ¹¹⁹ e, mais recentemente, aproximadamente 200–500 mil anos atrás, sugerem a caça mais deliberada de animais como parte ocasional de uma dieta onívora.

Foi então que há cerca de 15 mil anos alguns animais (principalmente os antepassados do cachorro) começaram a seguir nossos grupos de caçadores-coletores e tornaram-se nossos companheiros. Pouco tempo depois, aproximadamente 10 mil anos atrás, um novo capítulo na relação entre humanos

e animais teve início com a domesticação das primeiras espécies de animais, junto com o surgimento das primeiras práticas agrícolas. Cabras, ovelhas, galinhas, cavalos e bois foram algumas das primeiras espécies usadas por humanos como fontes mais previsíveis de carne e de produtos secundários (ovos, leite, lã e pelagem), além de tração muscular para tarefas como aragem e transporte. Alguns intrusos (espécies comensais, como roedores) que se aproveitavam dos assentamentos humanos, alimentando-se das sobras no nosso entorno, também juntaram-se ao grupo.

Em nossas interações com os animais selvagens, domésticos, de fazenda e comensais, patógenos de origem animal hoje bem conhecidos foram importados: do consumo de carcaças abandonadas e da caça importamos as tênia e, provavelmente, a hepatite e a poliomielite através da caça e consumo dos nossos parentes mais próximos, os primatas. Os animais de companhia nos trouxeram a raiva. Do contato com animais de fazenda importamos o sarampo, a Salmonella, a varíola (talvez a doença mais terrível que já existiu, e que afortunadamente foi erradicada quarenta anos atrás) e o antrax (que se tornou famoso por seu possível uso como arma biológica); os comensais nos trouxeram a peste bubônica, a hantavirose e o tifo epidêmico ³⁵. Naturalmente, o contrário também é verdade: muitas doenças infecciosas humanas também podem ser transmitidas aos animais ¹²⁰.

No final do século 19, após à revolução industrial, o ritmo de desenvolvimento industrial ultrapassou a expansão agrícola. Muitos avanços surgidos naquela época, como vacinas, antibióticos, saneamento básico e melhorias nos padrões de vida e nos cuidados com a saúde permitiram o controle

de muitas doenças infecciosas que nos assombavam até então, proporcionando a muitos a possibilidade de uma vida (em geral) mais longa e saudável. Foi tal o sucesso que, no final da década de 1960 houve um surto de otimismo – lamentavelmente precipitado – com a crença de que as doenças infecciosas em breve seriam coisa do passado ¹²¹.

Mas os avanços tecnológicos e o rápido crescimento populacional também foram catalisadores de um aumento maciço na interação entre homens e animais de formas totalmente diferentes do passado. Como discutimos neste livro, essas condições criaram novas rotas eficientes para a transmissão de patógenos, além das condições para que muitos dos avanços médicos modernos, paradoxalmente, começassem a perder seu valor. Estamos agora no que os cientistas chamam de “terceira transição epidemiológica”, caracterizada tanto pela ressurgência de doenças infecciosas conhecidas, como pelo aparecimento de novas doenças. ^{4,6,14,16}

Neste cenário, novos desafios continuarão surgindo na forma de epidemias e pandemias globais ¹²². Esses desafios colocarão à prova não somente nossa habilidade de reagir corretamente, mas também de identificar (e retificar) os fatores que mais contribuem para o surgimento desses eventos.

Um compromisso com esta e futuras gerações

Tendemos a abordar cada nova epidemia e crise na saúde pública de forma independente, em vez de reconhecer que

esses problemas são sintomas de algo comum. Os animais tem servido à humanidade por milênios, mas nas sociedades modernas atuais precisamos ser francos e admitir que a esmagadora maioria dos sistemas de produção animal tidos como ultra-modernos, somada a formas ultra-primitivas de obtenção de proteína animal diretamente da biodiversidade representam um risco para a saúde pública altíssimo. A extensão das perdas humanas e financeiras provenientes dos diversos surtos de doenças infecciosas cuja origem se remete a estes sistemas, assim como da resistência a antibióticos, fazem deste um problema social e econômico também.

Todos os anos o mundo gasta bilhões de dólares na elaboração e implementação de medidas de proteção contra doenças infecciosas. Em 2015, o financiamento de pesquisas em doenças infecciosas emergentes e zoonoses em apenas uma instituição norte-americana, o Centro para Controle e Prevenção de Doenças (CDC), foi de quase meio bilhão de dólares¹¹⁸. O custo anual com os planos de preparação para pandemias foi estimado como sendo de US\$ 3 a 5 bilhões¹²³. Ainda assim, é constrangedor o fato de que várias das políticas mais básicas de controle ainda falhem quando testadas, mesmo em países mais ricos como os EUA¹¹⁸. Será que devemos insistir em políticas de segurança na saúde pública quase que exclusivamente reativas?

Se por um lado grandes investimentos estão sendo feitos para o desenvolvimento de vacinas e tratamentos para controlar a atual pandemia de coronavírus, por outro esses recursos (muito necessários e bem-vindos) por si sós não

nos protegerão contra novas epidemias que poderão surgir no futuro, dada a grande diversidade de patógenos e sua capacidade de mutação. Não podemos nos dar ao luxo de não ter o mesmo nível de urgência ao direcionar financiamento, esforços e talento para acelerar o desenvolvimento formas modernas de produção de alimentos, que substituam os métodos e produtos que põe em risco a saúde global. Na verdade, essa revolução no setor alimentício já começou, como abordaremos na seção 'Mirando no Futuro'. Vale ressaltar, no entanto, que a demanda por alternativas mais seguras deve vir da população, e então o mercado responderá apropriadamente. Da mesma forma como exercemos a cidadania adotando as medidas necessárias para frear o avanço da pandemia de coronavírus e proteger nossas comunidades, também devemos exercê-la com nossas carteiras nas visitas aos supermercados, e pensar nos riscos que nossas decisões de compra e alimentação hoje representam para gerações futuras.

Escolhas pessoais e riscos para a sociedade

É amplamente aceito que precisamos considerar os riscos sociais que cada fonte de energia representa – preço e conveniência não são os únicos fatores em jogo. Estamos dispostos a pagar mais por fontes energéticas mais seguras e que prejudicam menos o ambiente e a saúde coletiva. Ainda assim, por alguma razão, essa lógica ainda não foi incorporada no que se refere aos custos e riscos que diferentes produtos alimentares (ou sistemas de produção) impõem às sociedades^{81,90}.

Certamente é fácil nos posicionarmos de forma contundente acerca dos rituais de canibalismo em regiões remotas da Papua Nova Guiné, exigindo sua proibição para acabar com a transmissão de febre de Kuru, uma desordem neurodegenerativa fatal adquirida a partir do consumo do cérebro de parentes mortos (esta proibição foi de fato implementada e freou com sucesso a transmissão da doença). Da mesma forma, é possível que a opinião pública global rejeite a reabertura dos mercados de animais selvagens da China (como aconteceu depois do surto de SARS em 2002/2003). Mais difícil, no entanto, é “*sermos honestos com nós mesmos sobre que tipos de pandemias podemos estar cultivando através de nossas próprias escolhas e práticas em relação ao uso de animais*”¹²⁴.

Do ponto de vista de saúde, o impacto de algumas decisões alimentares recai predominantemente sobre o indivíduo que as toma. Esse é o caso do consumo excessivo de ingredientes como o açúcar e o sal. Mas está na hora de aceitarmos que diferentes grupos de alimentos apresentam diferentes riscos e custos para muito além do indivíduo e as pessoas que lhe rodeiam. Por um lado, não podemos ser ingênuos e presumir que todos os surtos de doenças infecciosas estão associados exclusivamente ao consumo de produtos de origem animal. Por exemplo, no caso do surto do vírus Nipah, em Bangladesh, uma das rotas de transmissão do vírus às pessoas foi a contaminação da seiva de tamareiras com a saliva de morcegos endêmicos da região ¹²⁵ (ainda que, como vimos antes, a ponte entre morcegos e humanos também é feita através de porcos ²⁹, cabras e vacas ¹²⁵). Por outro lado, até o momento não houve uma única pandemia na história da humanidade que tivesse sua origem em pro-

duros vegetais. O fato de que diferentes grupos de alimentos representam diferentes riscos para a saúde global deve ser motivo de reflexão.

Além disso, como vimos através de vários exemplos, mesmo quando nossas escolhas pessoais não contribuem para o cultivo de epidemias ou pandemias, elas podem colocar outras pessoas em risco. Este é o caso da contaminação ambiental com os dejetos da produção animal, e do desenvolvimento da resistência a antibióticos. O excelente livro da autora americana Maryn McKenna, “Super Frango” (Big Chicken),⁸¹ percorre com o leitor vários exemplos de doenças graves e mortes que atingiram não somente aqueles que comeram carne contaminada, mas também pessoas (e comunidades inteiras) afetadas de forma indireta por esse consumo.

A lógica frequentemente invocada em saúde pública sobre ‘fumantes passivos’ também se aplica aqui, mas em escala global. Doenças zoonóticas, infecciosas e bactérias resistentes não respeitam fronteiras. Assim a dinâmica global destes problemas fazem de todos nós, em certo sentido, “comedores passivos de carne de animais selvagens”, “visitantes passivos de mercados úmidos”, “trabalhadores passivos de abatedouros” e “consumidores passivos de carne industrial”.

Mirando no futuro

Tecnologia

A tecnologia foi essencial para a erradicação e controle de muitos desafios na saúde pública que de outra forma ainda estariam comprometendo a saúde e tirando a vida de milhões

de pessoas. Vacinas e antibióticos vêm rapidamente à nossa mente, mas outros avanços também foram fundamentais. Alguns trouxeram conforto em nossas vidas diárias, como água encanada e o saneamento. Outros, ainda são considerados por muitos como inconvenientes, tais como os cintos de segurança, a proibição do fumo em determinados locais ou o uso de preservativos. Mesmo assim, nós adotamos essas medidas por entender que os seus benefícios superam em muito as inconveniências individuais.

Uma vez que aceitarmos os custos e riscos que muitos produtos de origem animal representam, e entendemos que esse é um assunto que deve ser levado a sério tanto em nível pessoal como coletivamente, a tecnologia poderá novamente nos ajudar. Muitas pessoas ainda não estão cientes de que estamos vivendo uma das maiores revoluções tecnológicas de todos os tempos. Nos últimos anos, um progresso incrível ocorreu tanto no desenvolvimento de produtos de origem animal que não requerem a criação e reprodução de animais, como no desenvolvimento de produtos similares as carnes e derivados produzidos a partir de vegetais. As tecnologias são várias: algumas vezes componentes de plantas são combinados de forma criativa para imitar o gosto, cheiro, textura e aparência de produtos animais. O hambúrguer é o exemplo mais comum. A partir do momento que uma empresa desenvolveu uma técnica pioneira para fabricar um hambúrguer “que sangra” à base de plantas, com textura e gosto incrivelmente parecidos com os da carne animal, outras empresas se lançaram nesta empreitada, aperfeiçoando seus produtos a cada novo lançamento.

Uma outra abordagem é similar à utilizada para produzir insulina humana para diabéticos. No passado, a insulina era extraída de bois e porcos para depois ser purificada no laboratório. No entanto, além das questões de biossegurança inerentes a este processo, das quais o leitor já está ciente, a insulina de origem animal às vezes provocava reações alérgicas, já que é similar, mas não igual, à insulina produzida pelo pâncreas humano. A solução engenhosa foi imitar o que os vírus fazem quando invadem uma célula e utilizam o seu maquinário para seu próprio benefício (a fabricação de mais vírus). O que fizemos foi também “invadir as células” de um tipo de bactéria e inserir em seu código genético genes humanos encarregados de produzir insulina. Assim transformamos essas bactérias em máquinas de produção de insulina humana livre de compostos alérgicos. Uma técnica similar está sendo utilizada para produzir leite, mas como trata-se de uma substância mais complexa, além das bactérias o processo também conta com o uso de leveduras na produção das proteínas de origem láctea, a “proteína do soro” (whey) e a caseína¹²⁶. Gradualmente o leite produzido dessa maneira terá a mesma composição e propriedades do leite original e nos permitirá fabricar queijos, iogurtes, sorvetes (já comercializados), requeijão, doce de leite e pão de queijo, do mesmo jeito que sempre foram feitos. Mas este leite também nos trará outros benefícios, já que não conterà nenhum dos elementos nocivos presentes no leite de vaca, como traços de hormônio, antibióticos, pus e sangue provenientes de infecções da glândula mamária (por exemplo, nos Estados Unidos, uma em cada seis vacas sofre de mastite¹²⁷).

Uma tecnologia similar que está surgindo é a de produção de carnes cultivadas (também chamadas de “carnes de laboratório” ou “carnes limpas”). São carnes de verdade, mas produzidas através do cultivo de células de animais ao invés de dependerem da criação e abate de animais. Nesse processo, as células animais com potencial de originar células musculares são cultivadas em “biorreatores”, máquinas estas semelhantes às que usamos para produzir cerveja. Por ser produzida em um ambiente estéril, a carne cultivada dessa maneira é livre dos vários patógenos dos quais tratamos neste livro. Pela mesma razão, o uso de antibióticos não é necessário. Além disso, essa tecnologia abre um mundo de possibilidades em termos de produção de alimentos, já que permite o desenvolvimento de produtos de origem animal diversos (em teoria, células de diferentes espécies podem ser cultivadas), mais saudáveis e elaborados para atender a diferentes gostos e necessidades nutricionais ¹²⁸. O primeiro avanço significativo desta tecnologia foi demonstrado em 2013, quando uma equipe de pesquisadores holandeses fez uma demonstração culinária de um hambúrguer produzido em laboratório. Desde então, os custos de produção destes produtos vêm caindo drasticamente, e outras opções foram adicionadas ao cardápio, como carne de frango, porco, pato e até peixe (atum)¹²⁹.

Essa variedade de novos produtos e tecnologias atende à demanda de um grande espectro de clientes, desde os interessados na preservação da saúde ou do meio ambiente até aqueles preocupados com questões éticas relacionadas ao uso de animais. Assim, as empresas do setor têm atraído grandes investimentos. É uma aposta segura dizer que esse

segmento seguirá crescendo, com uma variedade cada vez maior de substitutos de produtos animais, os quais serão cada vez mais atrativos ao paladar de todos e acessíveis para uma crescente parcela da população.

Finalmente, não devemos nos esquecer que a carne foi um recurso escasso para a maioria da população durante a maior parte da história da humanidade. Assim, milhares de receitas saborosas e ricas em proteína foram desenvolvidas com pouca, ou nenhuma, carne nas diversas culturas culinárias. Em uma excursão de domingo à um sítio pré-histórico próximo, acabamos fazendo amizade com um grupo de simpáticas senhoras de idade. Em um determinado momento, conversando sobre pratos regionais, elas nos disseram que não gostavam da forma como as pessoas preparam muitas das receitas hoje em dia: “exageram nos ‘tropezones’! não dá nem para achar o grão de bico!” Tropezones são os eventuais (daí o nome de “tropeços”) pedaços de carne que se adicionavam para dar gosto ao ensopado de grão de bico. As avós sim, é que sabem.

Um Mundo Mais Próspero

Quando há pouco mais de um século as máquinas a vapor, a combustão e elétricas começaram a substituir os animais como uma fonte de energia mecânica, muitos trabalhadores honestos e que dependiam dos velhos métodos (como carroças, rodas de água, moinhos, e a criação de animais de transporte) perderam seu meio de subsistência. Mas ao mesmo tempo um novo mundo de conveniências surgiu, com novas possibilidades de trabalho, e mais bem-estar a população em geral. As novas máquinas criaram as condições

para melhorias da saúde, do saneamento, do transporte, além de muitos outros avanços em escalas até então impensáveis.

A “destruição criativa” do mercado promovida pela tecnologia e pela inovação traz consigo prosperidade e melhores condições de vida. Mas durante esse período de transição, ela também pode criar um rastro de vítimas econômicas. Empresas de grande porte e aquelas mais ágeis conseguem se adaptar mais facilmente (de fato, grandes empresas do setor de carnes já estão investindo na produção de proteínas alternativas usando as técnicas comentadas anteriormente). No entanto, também devemos ter em mente as consequências negativas a curto prazo que a transição rumo à fontes de proteínas mais seguras poderão ter para pequenos produtores e aqueles dependentes da cadeia de produção. Portanto, a mesma engenhosidade que está agora impulsionando uma revolução no setor de alimentação também deve ser utilizada para ajudar a suavizar a transição entre as práticas atuais de produção e fornecimento de proteína e as que virão. Caso contrário, um muro de resistência naturalmente se erguerá.

As áreas rurais do sul da Europa, com suas cidadezinhas antigas e muros de pedra cercados por carvalhos e bosques de pinheiros são algumas das paisagens mais pitorescas do mundo, e nos dão um exemplo de oportunidades econômicas que poderiam prosperar em regiões já praticamente despovoadas. Nessas áreas de grande beleza, a revitalização e repovoamento da paisagem rural estava começando a ocorrer, baseada principalmente no turismo rural, na promoção de atividades ao ar livre e em investimentos na restauração de residências típicas das regiões. No entanto, em muitas desses



Paisagens como essa, no sul da Europa, foram dominadas por sistemas intensivos de criação de animais, frustrando o desenvolvimento do setor de turismo devido ao forte odor causado pelos dejetos dos muitos animais que vivem confinados (Foto: Cynthia Schuck)

lugares, essas atividades foram interrompidas bruscamente por causa do crescimento exponencial, nos últimos anos, de fazendas industriais (a maioria voltada para a engorda de porcos e de frangos). O fedor emitido pela grande concentração de animais, pelas lagoas de esterco e pelos campos adubados com esses resíduos tem frustrado as possibilidades de diversificação e expansão da atividade econômica, e o desenvolvimento de atividades turísticas em um perímetro considerável, além de desencorajar o retorno de residentes a essas regiões (a não ser daqueles que dependem desses sistemas de criação intensiva).

Mas dinâmicas econômicas de longo prazo e teorias sociais não serão suficientes para reverter essa situação e fazer com que produtores locais sequer pensem em mudar seus mo-

delos de negócio. Apesar das margens de lucro da atividade serem estreitas para aqueles na ponta da cadeia de produção (geralmente contratados por grandes companhias para criar e engordar os animais) esses fazendeiros não veem muitas alternativas que não sejam fazer parte destas cadeias de produção de carne barata. Soluções para situações como a descrita acima –ou mais dramáticas, como aquelas vividas por caçadores de animais selvagens em cantos muito pobres do planeta– devem ser amplamente consideradas, oferecendo alternativas que façam com que esses cidadãos tenham interesse em fazer parte desta transição. Consultorias técnicas e financeiras para a conversão de suas instalações para propósitos distintos, e para a exploração do potencial turístico das áreas rurais (que ganharão força quando os fatores de degradação da paisagem e do ambiente sejam removidos) seriam bem-vindas.

Um mundo mais resiliente

Em muitos países, a maior dificuldade enfrentada durante a atual pandemia está sendo o seu impacto sobre sistemas de saúde despreparados, incapazes de satisfazer a demanda por leitos hospitalares, profissionais da saúde e ventiladores necessários para atender o fluxo repentino de pacientes precisando de cuidados intensivos. Isso não deveria ter acontecido: além de se focar na difícil tarefa de prever quais novas doenças surgirão e como irão se transmitir, os esforços nesta área também devem identificar quais são os principais tipos de perigos ou “estressores” que a sociedade pode ter que enfrentar subitamente, e a partir

daí identificar quais sistemas, instituições e estruturas sociais são mais frágeis a estas situações disruptivas, assim como quais medidas devem tomadas para minimizar esses choques ¹³⁰. Com raras exceções ¹³¹, esta abordagem tem sido bastante negligenciada. Se esse exercício tivesse sido realizado com mais frequência, teria ficado claro que qualquer surto de doença respiratória –independentemente se causada por coronavírus, influenza ou outro patógeno respiratório– teria pressionado a capacidade dos sistemas de saúde de absorver o influxo de pacientes graves para além dos seus limites atuais.

Como discutimos neste livro, uma de nossas maiores fragilidades como sociedade –uma que nos deixa perigosamente vulneráveis a eventos catastróficos de natureza biológica– está associada a nossas escolhas alimentares. Ações e iniciativas que promovam e facilitem a transição para fontes alimentares mais seguras globalmente certamente seriam um investimento valioso na saúde e bem-estar desta e das futuras gerações.

Cynthia é doutora em Zoologia pela Universidade de Oxford. Conduziu vários projetos de pesquisa sobre a epidemiologia de doenças respiratórias e pandemias, cognição animal e, mais recentemente, sobre a saúde e bem-estar de animais de produção. Suas publicações incluem estudos sobre o impacto da mortalidade das pandemias de influenza de 1918 e 2009; sobre a mortalidade de doenças respiratórias infecciosas; métodos de avaliação do impacto de intervenções em saúde pública; o efeito da vacina pneumocócica para reduzir a mortalidade em crianças; estudos sobre comportamento animal e um trabalho pioneiro sobre as condições ambientais favorecendo a evolução da cognição avançada. Cynthia também ministrou workshops sobre análise de dados e capacitação científica por muitos anos.

Wladimir iniciou sua carreira como pesquisador estudando a evolução da complexidade biológica e o altruísmo biológico, posteriormente desenvolvendo estudos de campo e de laboratório sobre ecologia e comportamento animal. Após seu doutorado, trabalhou por mais de uma década em questões relacionadas à saúde global, sendo pioneiro na análise de gradientes latitudinais de parâmetros sazonais de doenças, e na análise que revelou que a vacinação anual contra a influenza é administrada na época errada nas regiões tropicais. Wladimir desenvolveu o *Epipoi*, um software para a análise de séries epidemiológicas temporais, usado por muitos pesquisadores, e ministrou workshops para epidemiólogos, biólogos, médicos e profissionais ligados à saúde pública em vários países. Publicou mais de 70 artigos sobre políticas de vacinação, pandemias, prevenção de catástrofes, evolução de cores em animais e história da ciência.

Referências

1. Courage, K. H. How Did Nigeria Quash Its Ebola Outbreak So Quickly? *Scientific American* (2014).
2. Shuaib, F. et al. Ebola virus disease outbreak – Nigeria, July–September 2014. *MMWR Morb. Mortal. Wkly. Rep.* 63, 867–872 (2014).
3. Adebayo, B. Nigeria overtakes India in extreme poverty ranking. *CNN* (2018).
4. Osterholm, M. & Olshaker, M. *Deadliest Enemy: Our War Against Killer Germs.* (Little, Brown Spark, 2017).
5. Quammen, D. & Muller, P. Seeking the Source of Ebola. *National Geographic* (2015).
6. Karesh, W. B. et al. Ecology of zoonoses: natural and unnatural histories. *Lancet* 380, 1936–1945 (2012).
7. Alonso, W. J. & McCormick, B. J. J. Urban Ecology and the Effectiveness of Aedes Control. in *Dengue Fever – a Resilient Threat in the Face of Innovation* (eds. Abelardo Falcón-Lezama, J., Betancourt-Cravioto, M. & Tapia-Conyer, R.) (IntechOpen, 2019).
8. Karesh, W. B., Cook, R. A., Bennett, E. L. & Newcomb, J. Wildlife trade and global disease emergence. *Emerg. Infect. Dis.* 11, 1000–1002 (2005).
9. Kupferschmidt, K. Hunting for Ebola among the bats of the Congo. (2017) doi:10.1126/science.aan6907.
10. Hahn, B. H., Shaw, G. M., De Cock, K. M. & Sharp, P. M. AIDS as a zoonosis: scientific and public health implications. *Science* 287, 607–614 (2000).
11. History.com Editors. History of AIDS. HISTORY <https://www.history.com/topics/1980s/history-of-aids> (2019).

12. Pandey, A. & Galvani, A. P. The global burden of HIV and prospects for control. *Lancet HIV* 6, e809–e811 (2019).
13. Pleasance, C. Map shows a third of world's population are under coronavirus lockdown. *Mail Online* <https://www.dailymail.co.uk/news/article-8150501/Map-shows-worlds-population-coronavirus-lockdown.html> (2020).
14. Peiris, J. S. M., Yuen, K. Y., Osterhaus, A. D. M. E. & Stöhr, K. The severe acute respiratory syndrome. *N. Engl. J. Med.* 349, 2431–2441 (2003).
15. Snowden, F. Lecture 25 – SARS, Avian Influenza, and Swine Flu: Lessons and Prospects. *videolectures.net* http://videolectures.net/yalehist234s2010__snowden__lec25/ (2014).
16. Webby, R. J. & Webster, R. G. Are we ready for pandemic influenza? *Science* 302, 1519–1522 (2003).
17. Vox. How wildlife trade is linked to coronavirus. <https://youtu.be/TPpoJGYIW54> (2020).
18. Andersen, K. G., Rambaut, A., Lipkin, W. I., Holmes, E. C. & Garry, R. F. The proximal origin of SARS-CoV-2. *Nat. Med.* (2020) doi:10.1038/s41591-020-0820-9.
19. Chaber, A.-L., Allebone-Webb, S., Lignereux, Y., Cunningham, A. A. & Marcus Rowcliffe, J. The scale of illegal meat importation from Africa to Europe via Paris: Illegal inter continental meat trade. *Conservation Letters* 3, 317–321 (2010).
20. Sims, L. D. et al. Origin and evolution of highly pathogenic H5N1 avian influenza in Asia. *Vet. Rec.* 157, 159–164 (2005).
21. Fobar, R. China promotes bear bile as coronavirus treatment, alarming wildlife advocates. *National Geographic* (2020).
22. Khan, S. U. et al. Avian influenza surveillance in domestic waterfowl and environment of live bird markets in Bangladesh, 2007–2012. *Sci. Rep.* 8, 9396 (2018).
23. Ritchie, H. & Roser, M. Access to Energy. *Our World in Data* (2019).

24. Standaert, M. Appetite for 'warm meat' drives risk of disease in Hong Kong and China. *The Guardian* (2020).
25. Highly Pathogenic Asian Avian Influenza A(H5N1) Virus | Avian Influenza (Flu). <https://www.cdc.gov/flu/avianflu/h5n1-virus.htm> (2018).
26. Rimi, N. A. et al. A Decade of Avian Influenza in Bangladesh: Where Are We Now? *Trop Med Infect Dis* 4, (2019).
27. Noor, M. A. H. & Mostafizur Rahaman, S. Knowledge, attitude and practices survey on avian influenza in three districts of Bangladesh. 14, 27–36 (2016).
28. Sharma, V., Kaushik, S., Kumar, R., Yadav, J. P. & Kaushik, S. Emerging trends of Nipah virus: A review. *Rev. Med. Virol.* 29, e2010 (2019).
29. Pulliam, J. R. C. et al. Agricultural intensification, priming for persistence and the emergence of Nipah virus: a lethal bat-borne zoonosis. *J. R. Soc. Interface* 9, 89–101 (2012).
30. One Health: The Human–Animal–Environment Interfaces in Emerging Infectious Diseases: The Concept and Examples of a One Health Approach. (Springer, Berlin, Heidelberg, 2013).
31. Jones, K. E. et al. Global trends in emerging infectious diseases. *Nature* 451, 990–993 (2008).
32. Simonsen, L. et al. Global Mortality Estimates for the 2009 Influenza Pandemic from the GLaMOR Project: A Modeling Study. *PLoS Med.* 10, e1001558 (2013).
33. Trebbien, R., Larsen, L. E. & Viuff, B. M. Distribution of sialic acid receptors and influenza A virus of avian and swine origin in experimentally infected pigs. *Virol. J.* 8, 434 (2011).
34. Greger, M. The human/animal interface: emergence and resurgence of zoonotic infectious diseases. *Crit. Rev. Microbiol.* 33, 243–299 (2007).
35. Reperant, L. A., Cornaglia, G. & Osterhaus, A. D. M. E. The importance of understanding the human–animal interface: from early hominins to global citizens. *Curr. Top. Microbiol. Immunol.* 365, 49–81 (2013).

36. Greger, M. Bird Flu: A Virus of Our Own Hatching. (Lantern Books,US, 6 de diciembre de 2006).
37. Taubenberger, J. K. & Morens, D. M. 1918 Influenza: the mother of all pandemics. *Emerg. Infect. Dis.* 12, 15–22 (2006).
38. Poovorawan, Y., Pyungporn, S., Prachayangprecha, S. & Makkoch, J. Global alert to avian influenza virus infection: from H5N1 to H7N9. *Pathog. Glob. Health* 107, 217–223 (2013).
39. Webster, R. G. 'Influenza: Lessons Learned from Pandemic H1N1'. <https://youtu.be/4zONbkE1J5E> (2011).
40. Wu, T. & Perrings, C. The live poultry trade and the spread of highly pathogenic avian influenza: Regional differences between Europe, West Africa, and Southeast Asia. *PLoS One* 13, e0208197 (2018).
41. Saenz, R. A., Hethcote, H. W. & Gray, G. C. Confined animal feeding operations as amplifiers of influenza. *Vector Borne Zoonotic Dis.* 6, 338–346 (2006).
42. Bacon, D. *The Right to Stay Home: How US Policy Drives Mexican Migration.* (Beacon Press, 2013).
43. Jones, P. J., Niemi, J., -P. Christensen, J., Tranter, R. B. & Bennett, R. M. A review of the financial impact of production diseases in poultry production systems. *Anim. Produc. Sci.* (2018) doi:10.1071/AN18281.
44. Perry, G. *Welfare of the Laying Hen.* (Poultry Science Symposium Series, 2004).
45. Ben-Nathan, D. Stress and virulence: West Nile virus encephalitis. *Israel Journal of Veterinary Medicine* 68, 135–140 (2013).
46. Humphrey, T. Are happy chickens safer chickens? Poultry welfare and disease susceptibility. *Br. Poult. Sci.* 47, 379–391 (2006).
47. Moberg, G. P. & Mench, J. A. *The Biology of Animal Stress: Basic Principles and Implications for Animal Welfare.* (CABI Pub., 2000).

48. Klein, T. W. Stress and infections. *J. Fla. Med. Assoc.* 80, 409–411 (1993).
49. Ferreira, B. R. & Cardoso, J. C. Herpes and Stress. in *Stress and Skin Disorders: Basic and Clinical Aspects* (eds. França, K. & Jafferany, M.) 209–225 (Springer International Publishing, 2017).
50. Umar, S. et al. Immunosuppressive interactions of viral diseases in poultry. *Worlds. Poult. Sci. J.* 73, 121–135 (2017).
51. Norris, K. & Evans, M. R. Ecological immunology: life history trade-offs and immune defense in birds. *Behav. Ecol.* 11, 19–26 (2000).
52. Rostagno, M. H. Can stress in farm animals increase food safety risk? *Foodborne Pathog. Dis.* 6, 767–776 (2009).
53. Backhans, A., Sjölund, M., Lindberg, A. & Emanuelson, U. Biosecurity level and health management practices in 60 Swedish farrow-to-finish herds. *Acta Vet. Scand.* 57, 14 (2015).
54. Racicot, M., Venne, D., Durivage, A. & Vaillancourt, J.-P. Description of 44 biosecurity errors while entering and exiting poultry barns based on video surveillance in Quebec, Canada. *Prev. Vet. Med.* 100, 193–199 (2011).
55. Dorea, F. C., Berghaus, R., Hofacre, C. & Cole, D. J. Survey of biosecurity protocols and practices adopted by growers on commercial poultry farms in Georgia, U. S. A. *Avian Dis.* 54, 1007–1015 (2010).
56. Scott, A. B. et al. Biosecurity practices on Australian commercial layer and meat chicken farms: Performance and perceptions of farmers. *PLoS One* 13, e0195582 (2018).
57. Negro-Calduch, E., Elfadaly, S., Tibbo, M., Ankers, P. & Bailey, E. Assessment of biosecurity practices of small-scale broiler producers in central Egypt. *Prev. Vet. Med.* 110, 253–262 (2013).

58. ABCS. Producao de Suínos: teoria e pratica (Swine production, theory and practice) - Associação Brasileira dos Criadores de Suínos. (Brasilia, 2014).
59. BBSRC, DEFRA & FSA. UK Research and Innovation Strategy for Campylobacter - in the food chain. <https://bbsrc.ukri.org/documents/100717-campylobacter-strategy-pdf/> (2010).
60. WHO. Campylobacter - Key facts. Key facts, World Health Organisation <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/campylobacter> (2018).
61. FoodStandardsAgency. The truth about campylobacter. https://www.youtube.com/watch?v=V3QS_EgEYlk (2014).
62. Channel 4 News. See how the Campylobacter chicken bug spreads in a kitchen. <https://www.youtube.com/watch?v=c4wbqWA2qI8> (2014).
63. Nichols, G. L. Fly transmission of Campylobacter. *Emerg. Infect. Dis.* 11, 361-364 (2005).
64. Djennad, A. et al. Seasonality and the effects of weather on Campylobacter infections. *BMC Infect. Dis.* 19, 255 (2019).
65. McGee, H. *On Food and Cooking: The Science and Lore of the Kitchen.* (Simon and Schuster, 2007).
66. GBD 2017 Non-Typhoidal Salmonella Invasive Disease Collaborators. The global burden of non-typhoidal salmonella invasive disease: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2017. *Lancet Infect. Dis.* 19, 1312-1324 (2019).
67. Wiedemann, A., Virlogeux-Payant, I., Chaussé, A.-M., Schikora, A. & Velge, P. Interactions of Salmonella with animals and plants. *Front. Microbiol.* 5, 791 (2014).
68. Heuvelink, A. E., Roessink, G. L., Bosboom, K. & de Boer, E. Zero-tolerance for faecal contamination of carcasses as a tool in the control of O157 VTEC infections. *Int. J. Food Microbiol.* 66, 13-20 (2001).
69. Wheatley, P., Giotis, E. S. & McKevitt, A. I. Effects of slaughtering operations on carcass contamination in an Irish pork production plant. *Ir. Vet. J.* 67, 1 (2014).

70. Devleesschauwer, B., Haagsma, J. A., Mangen, M.-J. J., Lake, R. J. & Havelaar, A. H. The Global Burden of Foodborne Disease. in *Food Safety Economics: Incentives for a Safer Food Supply* (ed. Roberts, T.) 107–122 (Springer International Publishing, 2018).
71. Levitt, T. Two billion and rising: the global trade in live animals in eight charts. *The Guardian* (2020).
72. Greger, M. The long haul: risks associated with livestock transport. *Biosecur. Bioterror.* 5, 301–311 (2007).
73. McKenna, M. et al. Why Scientists Should Be Tracking a Catastrophic Pig Disease. *Wired* (2018).
74. Freestone, P. & Lyte, M. Stress and microbial endocrinology: prospects for ruminant nutrition. *Animal* 4, 1248–1257 (2010).
75. Di Nardo, A., Knowles, N. J. & Paton, D. J. Combining livestock trade patterns with phylogenetics to help understand the spread of foot and mouth disease in sub-Saharan Africa, the Middle East and Southeast Asia. *Rev. Sci. Tech.* 30, 63–85 (2011).
76. Hardstaff, J. L., Häsler, B. & Rushton, J. R. Livestock trade networks for guiding animal health surveillance. *BMC Vet. Res.* 11, 82 (2015).
77. Nelson, M. I. et al. Global migration of influenza A viruses in swine. *Nat. Commun.* 6, 6696 (2015).
78. Jensen, P. Observations on the maternal behaviour of free-ranging domestic pigs. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 16, 131–142 (1986).
79. Campbell, J. M., Crenshaw, J. D. & Polo, J. The biological stress of early weaned piglets. *J. Anim. Sci. Biotechnol.* 4, 19 (2013).
80. Casal, J., Mateu, E., Mejía, W. & Martín, M. Factors associated with routine mass antimicrobial usage in fattening pig units in a high pig-density area. *Vet. Res.* 38, 481–492 (2007).
81. McKenna, M. *Big chicken: the incredible story of how antibiotics created modern agriculture and changed the way the world eats.* (National Geographic Books, 2017).

82. Daniel, T. M. The history of tuberculosis. *Respir. Med.* 100, 1862–1870 (2006).
83. Frost, I., Craig, J., Joshi, J., Faure, K. & Laxminarayan, R. Access Barriers to Antibiotics. (2019).
84. WHO. Global action plan on antimicrobial resistance. (World Health Organization, 2015).
85. Antimicrobial Resistance Review. <https://amr-review.org/>.
86. O'Neill, J. Antimicrobials in agriculture and the environment: reducing unnecessary use and waste. https://ec.europa.eu/health/amr/sites/amr/files/amr_studies_2015_am-in-agri-and-env.pdf (2015).
87. Bar-On, Y. M., Phillips, R. & Milo, R. The biomass distribution on Earth. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 115, 6506–6511 (2018).
88. CDC. Antibiotic Use in Outpatient Settings, 2017. Centers for Disease Control <https://www.cdc.gov/antibiotic-use/stewardship-report/outpatient.html> (2017).
89. Van Boeckel, T. P. et al. Global trends in antimicrobial resistance in animals in low- and middle-income countries. *Science* 365, (2019).
90. Benatar, D. The chickens come home to roost. *Am. J. Public Health* 97, 1545–1546 (2007).
91. Wegener, H. C., Aarestrup, F. M., Jensen, L. B., Hammerum, A. M. & Bager, F. Use of antimicrobial growth promoters in food animals and *Enterococcus faecium* resistance to the raptetic antimicrobial drugs in Europe. *Emerg. Infect. Dis.* 5, 329–335 (1999).
92. Liu, Y.-Y. et al. Emergence of plasmid-mediated colistin resistance mechanism MCR-1 in animals and human beings in China: a microbiological and molecular biological study. *Lancet Infect. Dis.* 16, 161–168 (2016).
93. Reardon, S. Resistance to last-ditch antibiotic has spread farther than anticipated. *Nature News* (2017) doi:10.1038/nature.2017.22140.

94. Rhouma, M., Fairbrother, J. M., Beaudry, F. & Letellier, A. Post weaning diarrhea in pigs: risk factors and non-colistin-based control strategies. *Acta Vet. Scand.* 59, 31 (2017).
95. Wang, R. et al. The global distribution and spread of the mobilized colistin resistance gene *mcr-1*. *Nat. Commun.* 9, 1179 (2018).
96. Gröndahl-Yli-Hannuksela, K. et al. The first human report of mobile colistin resistance gene, *mcr-1*, in Finland. *APMIS* 126, 413–417 (2018).
97. Liu, Y. & Liu, J.-H. Monitoring Colistin Resistance in Food Animals, An Urgent Threat. *Expert Rev. Anti. Infect. Ther.* 16, 443–446 (2018).
98. Garcia, F. et al. Stocking density of Nile tilapia in cages placed in a hydroelectric reservoir. *Aquaculture* 410–411, 51–56 (2013).
99. Watts, J. E. M., Schreier, H. J., Lanska, L. & Hale, M. S. The Rising Tide of Antimicrobial Resistance in Aquaculture: Sources, Sinks and Solutions. *Mar. Drugs* 15, (2017).
100. Done, H. Y., Venkatesan, A. K. & Halden, R. U. Does the Recent Growth of Aquaculture Create Antibiotic Resistance Threats Different from those Associated with Land Animal Production in Agriculture? *AAPS J.* 17, 513–524 (2015).
101. Liu, C. M. et al. *Escherichia coli* ST131–H22 as a Foodborne Uropathogen. *MBio* 9, (2018).
102. Hussain, A. et al. Risk of Transmission of Antimicrobial Resistant *Escherichia coli* from Commercial Broiler and Free-Range Retail Chicken in India. *Front. Microbiol.* 8, 2120 (2017).
103. CDC. Methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA) | General Information. Centers for Disease Control and Prevention, National Center for Emerging and Zoonotic Infectious Diseases (NCEZID), Division of Healthcare Quality Promotion (DHQP) <https://www.cdc.gov/mrsa/community/index.html> (2019).

104. Silva, N. C. C. et al. Characterization of methicillin-resistant coagulase-negative staphylococci in milk from cows with mastitis in Brazil. *Antonie Van Leeuwenhoek* 106, 227–233 (2014).
105. Silva, N. C. C. et al. Molecular characterization and clonal diversity of methicillin-susceptible *Staphylococcus aureus* in milk of cows with mastitis in Brazil. *J. Dairy Sci.* 96, 6856–6862 (2013).
106. Silva, K. C. et al. First Characterization of CTX-M-15-Producing *Escherichia coli* Strains Belonging to Sequence Type (ST) 410, ST224, and ST1284 from Commercial Swine in South America. *Antimicrob. Agents Chemother.* 60, 2505–2508 (2016).
107. Casella, T. et al. Detection of blaCTX-M-type genes in complex class 1 integrons carried by Enterobacteriaceae isolated from retail chicken meat in Brazil. *Int. J. Food Microbiol.* 197, 88–91 (2015).
108. Wang, J. et al. Characterization of oqxAB in *Escherichia coli* Isolates from Animals, Retail Meat, and Human Patients in Guangzhou, China. *Front. Microbiol.* 8, 1982 (2017).
109. Zeng, Z.-L. et al. High prevalence of Cfr-producing *Staphylococcus* species in retail meat in Guangzhou, China. *BMC Microbiol.* 14, 151 (2014).
110. Undurraga, D. Supermarket Meat Still Superbugged, Federal Data Show. <https://www.ewg.org/research/superbugs/> (2018).
111. Graveland, H., Duim, B., van Duijkeren, E., Heederik, D. & Wagenaar, J. A. Livestock-associated methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* in animals and humans. *Int. J. Med. Microbiol.* 301, 630–634 (2011).
112. Marshall, B. M. & Levy, S. B. Food animals and antimicrobials: impacts on human health. *Clin. Microbiol. Rev.* 24, 718–733 (2011).
113. Thanner, S., Drissner, D. & Walsh, F. Antimicrobial Resistance in Agriculture. *MBio* 7, e02227–15 (2016).

114. OIE. FAO, OIE, and WHO launch a guide for countries on taking a One Health approach to addressing zoonotic diseases: OIE – World Organisation for Animal Health. <https://www.oie.int/en/for-the-media/press-releases/detail/article/fao-oie-and-who-launch-a-guide-for-countries-on-taking-a-one-health-approach-to-addressing-zoonoti/>.
115. Baird, S., Friedman, J. & Schady, N. Aggregate Income Shocks and Infant Mortality in the Developing World. *Rev. Econ. Stat.* 93, 847–856 (2011).
116. World_Bank. A World at Risk: Annual report on global preparedness for health emergencies. https://apps.who.int/gpmb/assets/annual_report/GPMB_annualreport_2019.pdf (2019).
117. ILO. COVID-19 and the world of work: Impact and policy responses. https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---dgreports/---dcomm/documents/briefingnote/wcms_738753.pdf (2020).
118. Levi, J., Segal, L. M., Lieberman, D. A., May, K. & Laurent, R. Outbreaks: Protecting Americans from Infectious Diseases. (2014).
119. McPherron, S. P. et al. Evidence for stone-tool-assisted consumption of animal tissues before 3.39 million years ago at Dikika, Ethiopia. *Nature* 466, 857–860 (2010).
120. Cleaveland, S., Laurenson, M. K. & Taylor, L. H. Diseases of humans and their domestic mammals: pathogen characteristics, host range and the risk of emergence. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B Biol. Sci.* 356, 991–999 (2001).
121. Fauci, A. S. Infectious diseases: considerations for the 21st century. *Clin. Infect. Dis.* 32, 675–685 (2001).
122. Grace, D. et al. Mapping of poverty and likely zoonoses hotspots (Report to the UK Department for International Development. Nairobi, Kenya: ILRI). https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/21161/ZooMap_July2012_final.pdf?sequence=4 (2012).

123. Gostin, L. O. Global Health Security After Ebola: Four Global Commissions. *Milbank Q.* 94, 34–38 (2016).
124. Shapiro, P. One Root Cause of Pandemics Few People Think About. *Scientific American Blog Network* <https://blogs.scientificamerican.com/observations/one-root-cause-of-pandemics-few-people-think-about/> (2020).
125. Luby, S. P., Gurley, E. S. & Jahangir Hossain, M. TRANSMISSION OF HUMAN INFECTION WITH NIPAH VIRUS. (National Academies Press (US), 2012).
126. Scipioni, J. This \$20 ice cream is made with dairy grown in lab—and it sold out immediately. *CNBC* <https://www.cnn.com/2019/07/16/perfect-day-foods-made-ice-cream-from-real-dairy-grown-in-lab.html> (2019).
127. USDA. Dairy 2014 Milk Quality, Milking Procedures, and Mastitis on U.S. Dairies, 2014. https://www.aphis.usda.gov/animal_health/nahms/dairy/downloads/dairy14/Dairy14_dr_Mastitis.pdf (2016).
128. Accelerating breakthroughs in cellular agriculture. *New Harvest* https://www.new-harvest.org/cell_ag__101.
129. Rubio, N., Datar, I., Stachura, D., Kaplan, D. & Krueger, K. Cell-Based Fish: A Novel Approach to Seafood Production and an Opportunity for Cellular Agriculture. *Frontiers in Sustainable Food Systems* 3, 43 (2019).
130. Alonso, W. J., McCormick, B. J., Miller, M. A., Schuck-Paim, C. & Asrar, G. R. Beyond crystal balls: crosscutting solutions in global health to prepare for an unpredictable future. *BMC Public Health* 15, (2015).
131. Johns_Hopkins. Event 201, a pandemic exercise to illustrate preparedness efforts. Johns Hopkins Center for Health Security, World Economic Forum, Bill and Melinda Gates Foundation. Event 201 <http://www.centerforhealthsecurity.org/event201/> (2020).

Este pequeno livro foi escrito no final de março de 2020, durante a pandemia de coronavírus que tirou a humanidade de sua rotina. Enquanto escrevemos estas linhas, nos unimos a bilhões de outras pessoas torcendo para que o efeito desta pandemia na destruição de vidas e empregos nas próximas semanas, ou meses, seja o menor possível.

Este livro também trata desta pandemia, mas não contém fórmulas nem conselhos para superar esta crise. O que desejamos, com estas linhas, é aproveitar para estimular uma reflexão sobre como cada um de nós pode contribuir para diminuir as chances de que este tipo de catástrofe ocorra novamente.

E a boa notícia é que, como o leitor perceberá, mesmo um texto que fala de doenças, epidemias, pestes e pandemias pode ser esperançoso e otimista. Por que, sim, afortunadamente e como mostraremos aqui, a redução de muitos dos riscos apresentados por novos patógenos e outros desafios à saúde global depende da atuação humana. E a humanidade já provou poder vencer com sucesso desafios inclusive mais difíceis quando nos propomos.

Com nossos melhores desejos a todos, e que aproveitem este livro,

Cynthia e Wladimir