

Educação em Ciências em Tempos de Desinformação



Este *report* é produto da colaboração de um grupo liderado por Jonathan Osborne e financiado por uma doação da *Gordon and Betty Moore Foundation*. O conteúdo decorre de uma série de discussões realizadas entre os seguintes participantes:

Jonathan Osborne, Stanford University, Stanford, EUA

Daniel Pimentel, Stanford University, Stanford, EUA

Bruce Alberts, University of California, San Francisco, EUA

Douglas Allchin, University of Minnesota, Minnesota, EUA

Sarit Barzilai, University of Haifa, Israel

Carl Bergstrom, University of Washington, Seattle, EUA

Janet Coffey, Gordon and Betty Moore Foundation, Palo Alto, EUA

Brian Donovan, BSCS Science Learning, Colorado, EUA

Rena Dorph, The Lawrence, University of California Berkeley, Berkeley, EUA

Kari Kivinen, Faktabaari, Finlândia

Anastasia Kozyreva, Max Planck Institute for Human Development, Berlim, Alemanha

Kathy Perkins, University of Colorado Boulder, EUA

Saul Perlmutter, University of California Berkeley, Berkeley, EUA

Sam Wineburg, Stanford University, Stanford, EUA

Muitos desses participantes também são autores deste documento. E embora todos concordem amplamente com as questões e preocupações, nem todos os autores concordam com todos os pontos.

Para citar este documento

Osborne, J., Pimentel, D., Alberts, B., Allchin, D., Barzilai, S., Bergstrom, C., Coffey, J., Donovan, B., Kivinen, K., Kozyreva, A., & Wineburg, S. (2022). *Science Education in an Age of Misinformation*. Stanford University, Stanford, CA.

Site de acompanhamento: sciedandmisinfo.stanford.edu

Copyright © Jonathan Osborne, Universidade de Stanford, 2022

Tradução e Revisão Técnica

Silmara Rodrigues Domingues

Estudante de Doutorado - Programa de Pós-Graduação Multiunidades em Ensino de Ciências e Matemática (PECIM - UNICAMP)

Aldo Aoyagui Gomes Pereira

Professor no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo

Composição [Shakespeare Editorial](#)

Imagem da capa de [Creative Christians](#), Unsplash

Conteúdos

O Desafio Que A Educação em Ciências Enfrenta.....	1
1. Por que os Estudantes Precisam Desenvolver a Habilidade de Avaliar Expertise e Informação Científica?.....	3
2. Que Evidências Existem de que os Jovens têm Dificuldade para Avaliar Informações com Sucesso?.....	7
3. Por que é Uma Prioridade Urgente para Cientistas e Educadores em Ciências Desenvolver a Competência dos Estudantes para Avaliar Informações?.....	9
4. O que Pode ser Feito por Cientistas e Educadores de Ciências para Desenvolver a Competência para Avaliar Informação Científica e Expertise?.....	14
Noções Básicas de Alfabetização Midiática Digital e Informacional.....	14
A Prática Social da Ciência.....	16
Os Indicadores de Expertise em Ciência.....	16
Como a Ciência Produz Conhecimento Confiável.....	18
Consenso Científico.....	18
Revisão por pares.....	20
Lidando com a Incerteza	22
Teoria Estatística e da Probabilidade	23
Amostragem.....	24
Causalidade.....	24
Os Limites dos Modelos.....	25
Dados Deturpados.....	26
Valorizando a Humildade Intelectual e a Verdade.....	26
Implicações para a Prática.....	30
Exemplo 1	30
Exemplo 2.....	32
Exemplo 3.....	34
Exemplo 4.....	36
Implicações para a Política.....	38
Recomendação 1: Revisar os Padrões e Currículos da Educação em Ciências.....	39
Recomendação 2: Desenvolvimento de Materiais Curriculares.....	40
Recomendação 3: Formação de Professores de Ciências.....	40
Recomendação 4: Aprimorando a Avaliação.....	41
Para concluir.....	41
Referências	43

O DESAFIO QUE A EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS ENFRENTA

O verdadeiro conhecimento é um bem coletivo... No entanto, há uma preocupação crescente sobre a forma como a internet pode ser usada para espalhar informações falsas.

O verdadeiro conhecimento é um bem coletivo. Hoje, a Internet fornece acesso a um mar interconectado de informações que era simplesmente inimaginável até 20 anos atrás. A suposição comum é que isso é bom, sobretudo porque a Internet nos oferece respostas para perguntas, desde como consertar uma bicicleta quebrada até nossas preocupações com problemas de saúde. Além disso, reuniu indivíduos isolados para perseguir seus interesses comuns.

No entanto, há uma preocupação crescente sobre a forma como a Internet pode ser usada para espalhar informações falsas. Quer se trate de informações errôneas (informações oferecidas de boa-fé, mas falhas) ou, pior, desinformação (informações oferecidas por aqueles que estão bem cientes de que são falhas ou imprecisas) - muito disso mina a confiança na ciência [1-3]. A aceitação generalizada de alegações infundadas, como a ideia de que as vacinas causam autismo, que a Terra é plana ou que a mudança climática é uma farsa, é de grande preocupação. Pois, embora o conhecimento verdadeiro seja um bem coletivo, o conhecimento falso ou falso pode ser um perigo – tanto individual quanto coletivamente. Por exemplo, a ideia de que as vacinas são prejudiciais põe em risco não só a vida de quem a tem, mas toda a comunidade que depende de um alto nível de vacinação para garantir sua saúde.

Uma caracterização desse fenômeno é que estamos vivendo em uma sociedade de “pós-verdade” – uma sociedade que diminui ou nega o papel dos fatos na vida pública [4-7]. E, embora sempre tenha havido indivíduos que avançaram com informações falsas e teorias da conspiração, ou obscureceram a linha entre opinião e fato, a Internet e as mídias sociais fornecem plataformas que disseminam mentiras em uma velocidade muito maior, superando a comunicação da verdade [3]. Além disso, elas oferecem as ferramentas para disfarçar a falta de conhecimento e monetizar sua disseminação, moldando, assim, o comportamento humano em escala global [2,8].

Muitas dessas informações falsas tentam minar a ciência bem estabelecida ou, alternativamente, camuflar ideias nas armadilhas superficiais de ciência para fazer argumentos falaciosos.

Muitas dessas informações falsas tentam minar a ciência bem estabelecida ou, alternativamente, camuflar ideias nas armadilhas superficiais de ciência para fazer argumentos falaciosos. Usando o jargão científico com link para artigos de periódicos e evidências, ou escolhendo a dedo as evidências, o usuário é convidado a avaliar as evidências por si mesmo, apelando para a noção de que todos podem ser intelectualmente independentes. Resumindo, faça sua própria pesquisa. Dessa maneira, os fornecedores de desinformação simplesmente exploram uma crença equivocada em nossas próprias capacidades para corroer a confiança em descobertas científicas bem estabelecidas. A realidade, entretanto, é que todos nós dependemos de experts [9-11]. Somente experts dentro do mesmo domínio podem avaliar as afirmações de outros experts.

Além disso, o panorama da informação foi fundamentalmente transformado. Na Internet, muitas vezes as informações não são organizadas por *gatekeepers* profissionais. É provável que os jovens obtenham suas informações do YouTube e do Tik Tok. Embora alguns dos canais nessas plataformas sejam fontes confiáveis de informação,

muitos deles não são. Em essência, vivemos em uma sociedade onde todos são forçados a fazer julgamentos sobre a credibilidade da informação e de nossas fontes. Nossa inabilidade de fazer isso bem, e a falta de uma educação sobre como abordar essa tarefa, desencadeou um redemoinho que permite que atores mal-intencionados explorem nossas limitações para seus próprios fins. Cientistas e educadores em ciências vêm observando isso com desânimo, frustração e preocupação crescentes [4,11-14].

Juntamente com outros, vemos esse desenvolvimento como uma ameaça à saúde das sociedades democráticas, equivalente à ameaça representada pelo lançamento do Sputnik em 1957.

Juntamente com outros, vemos esse desenvolvimento como uma ameaça à saúde das sociedades democráticas, equivalente à ameaça representada pelo lançamento do Sputnik em 1957. A ameaça do Sputnik levou a grandes iniciativas educacionais para melhorar a educação dos jovens. Essa ameaça atual também precisa de uma resposta semelhante. Em particular, uma resposta importante da educação em ciências. Por quê? Porque muitas das questões que exigem nossa tomada de decisão pessoal ou coletiva são informadas por uma compreensão da ciência. Desde decidir se devemos tomar uma vacina até quais ações devemos tomar sobre as mudanças climáticas, a ciência tem uma importante contribuição a dar. No entanto, às vezes a ciência pode parecer incerta, contestada ou confusa. Nesses casos, é difícil saber quais decisões devemos tomar. Saber em quem confiar, por que podem ser confiáveis e até que ponto é uma habilidade essencial para a vida.

Em primeiro lugar, os cientistas e os educadores de ciência formais e informais devem contribuir para a construção do conhecimento e das habilidades necessárias para a alfabetização midiática digital e informacional, particularmente nas ciências. Em segundo lugar, eles devem desenvolver uma compreensão da importância do consenso na ciência.

Vivendo em uma era de desinformação, duas coisas devem ser feitas para enfrentar esse desafio. Em primeiro lugar, os cientistas e os educadores em ciências, atuando em espaços formais e informais, devem contribuir para a construção do conhecimento e das capacidades necessárias para a alfabetização midiática digital e informacional, particularmente nas ciências. Em segundo lugar, eles devem desenvolver uma compreensão da importância do consenso na ciência e, além disso, das *práticas sociais* que a comunidade científica usa para examinar afirmações científicas e produzir conhecimento confiável. Atualmente, a educação em ciências, desde o ensino fundamental até a graduação, raramente, ou nunca, explica a seus estudantes como as ciências garantem que o conhecimento que elas produzem seja confiável. Essa omissão presta um desserviço à ciência e permite que a desinformação se espalhe, proporcionando um espaço para os fornecedores de desinformação minar a autoridade e a legitimidade do conhecimento científico confiável.

Neste relatório, portanto, apresentamos como a educação em ciências pode cumprir sua responsabilidade de fornecer a todos os estudantes as competências necessárias para navegar neste mar de informações falsas e questionáveis, sem se perder, confundir e, mais importante, ser enganado. Ao fazê-lo, exploramos quatro questões:

1. Por que os estudantes precisam da habilidade de avaliar expertise e informação científica?
2. Que evidências existem de que os jovens têm dificuldades para avaliar as informações com sucesso?
3. Por que é prioridade urgente para cientistas e educadores em ciências desenvolver a competência dos estudantes para avaliar informações?
4. O que pode ser feito por cientistas e educadores de ciências para desenvolver a competência para avaliar informação científica e expertise?

Concluímos com exemplos ilustrativos do que pode ser feito agora e com um conjunto de recomendações de políticas para ação.

1. POR QUE OS ESTUDANTES PRECISAM DESENVOLVER A CAPACIDADE DE AVALIAR EXPERTISE E INFORMAÇÃO CIENTÍFICA?

Agora, o fornecedor de conhecimento falho pode apresentar suas afirmações diretamente ao público, muitas vezes disfarçado de ciência, de uma maneira que pareça crível para não experts.

“Os cientistas são nossos experts designados para estudar o mundo.”

A compreensão e o conhecimento no mundo real são limitados tanto por nossas próprias capacidades cognitivas finitas quanto pela complexidade do ambiente - um princípio chamado "racionalidade limitada".

Trinta anos atrás, as fontes de informação eram mais regulamentadas. As informações provenientes de notícias das mídias eram tipicamente filtradas por 'gatekeepers'. Sua tarefa profissional era editar e fazer a curadoria – essencialmente filtrar a abundância de conhecimento produzido, avaliar o que era significativo, avaliar a credibilidade das fontes e relatar apenas informações confiáveis. Uma consequência foi que os consumidores podiam frequentemente encontrar conhecimentos que desafiavam a maneira de pensar. Para as ciências, esse papel foi desempenhado por jornalistas de ciência e divulgadores ciência experientes. A questão hoje não é que eles não existam mais (embora seus números tenham diminuído significativamente), mas sim que a Internet e as mídias sociais permitem que eles sejam contornados. Agora, o fornecedor de conhecimento falho pode apresentar suas afirmações diretamente ao público, muitas vezes disfarçado de ciência, de uma maneira que pareça crível para não experts. O problema é então amplificado pelo fato de que as pessoas podem facilmente compartilhar essas informações nas mídias sociais.

Goste ou não, como vivemos em uma sociedade complexa, dependemos da expertise de outras pessoas [9,11,15]. Os carros que dirigimos, o avião que pilotamos e a televisão que assistimos exigem enorme expertise para funcionar. Da mesma forma, as decisões sobre nossa saúde, como lidar com as mudanças climáticas, como mitigar a poluição do ar e muitas outras exigem o conhecimento que os experts têm a oferecer, neste contexto complexo, “os cientistas são nossos experts designados para estudar o mundo”. [16] Dado este óbvio truísmo, por que então tantos parecem nutrir uma ilusão de que são capazes de independência cognitiva [11]? Um sentimento refletido sucintamente na declaração de um político britânico no debate sobre o Brexit no Reino Unido “de que as pessoas estão fartas de experts”. [17] Tais crenças ameaçam nossa confiança na expertise e minam nossa capacidade de lidar efetivamente com os problemas que enfrentamos. Ou, como alguns sugeriram, aos quatro cavaleiros do apocalipse — guerra, fome, peste e morte —, podemos acrescentar um quinto, a desinformação.

Claramente, sempre houve mais conhecimento disponível do que qualquer pessoa pode adquirir na vida. No entanto, duas coisas aconteceram que tornam esse problema mais pronunciado. Primeiro, o corpo de conhecimento se expandiu de uma lagoa para um lago, depois para um oceano de informações que continua a crescer exponencialmente [18,19]. Em segundo lugar, desde o desenvolvimento da Internet, o acesso público à informação é mais fácil do que nunca. No entanto, as capacidades humanas individuais para processar informações não se adaptaram adequadamente. A compreensão e o conhecimento no mundo real são limitados tanto por nossas próprias capacidades cognitivas finitas quanto pela complexidade do ambiente – um princípio que Herbert Simon chamou de “racionalidade limitada”. [20,21]

A consequência para os experts é que eles são mestres de um sulco de entendimento cada vez mais estreito [22]. O aluno de graduação não estuda mais uma graduação em biologia, mas sim uma graduação em imunologia ou genética molecular. A profundidade foi

alcançada em detrimento da extensão do conhecimento. Expertise em um domínio, entretanto, não é garantia de expertise em outro. E, como nosso conhecimento é sempre limitado [20,23] – a lacuna entre o conhecimento disciplinar cada vez mais especializado do expert e do leigo cresce diariamente.

Reconhecer os limites do que qualquer pessoa pode saber é fundamental para moldar os objetivos e resultados da educação. Dados os limites finitos do que a educação pode alcançar, todas as sociedades são forçadas a repetir a velha questão “Qual conhecimento tem mais valor?” [24]. O ideal imaginado pelo grande educador e filósofo americano John Dewey – de que é possível educar os estudantes para serem totalmente independentes intelectualmente – é simplesmente uma ilusão. Estamos sempre dependentes do conhecimento dos outros. Além disso, a ideia de que a educação pode educar pensadores críticos independentes ignora o fato de que, para pensar criticamente em qualquer domínio, você precisa de alguma expertise nesse domínio [25,26]. Como, então, a educação prepara os estudantes para um contexto em que eles se deparam com afirmações científicas de conhecimento baseadas em ideias, evidências e argumentos que eles não entendem?

A questão-chave do 'outsider competente' para a ciência profissional é, essas alegações de saber podem ser confiáveis? Em suma, esta informação, e aqueles que a afirmam, são credíveis? Fazer esse julgamento requer uma compreensão da ciência como uma prática social.

A abordagem atual na educação em ciências tem como foco o desenvolvimento de 'espectadores internos', ou seja, estudantes que “passaram por um longo tempo assistindo a um desfile de conceitos e teorias” e tem um amplo conhecimento científico. [27]. Embora tal conhecimento seja valioso, muitas vezes, a ciência que nos confronta diariamente está além da compreensão limitada alcançada pela educação formal [27,28]. Em contraste, dada a natureza limitada de nosso conhecimento, a menos que optemos por nos tornar um cientista profissional, a maioria de nós está destinada a ser um *outsider*, assim como o somos para todas as profissões, menos para a nossa. A educação deve, portanto, ter como objetivo nos tornar “*outsiders* competentes” para a ciência profissional. Nesse contexto, então, a questão para o *outsider* competente é: essas alegações de conhecimento podem ser confiáveis? Em suma, esta informação, e aqueles que a afirmam, são credíveis? Fazer esse julgamento requer uma compreensão da ciência como uma prática social. É assim que a comunidade científica fiscaliza e examina as alegações de conhecimento que os cientistas praticantes apresentam, para garantir que essas alegações sejam confiáveis. Veja, por exemplo, o relatório do IPCC sobre mudanças climáticas. Pessoas de fora aceitam sua veracidade porque confiam no painel de experts que montou este relatório, e não porque avaliaram as evidências por si mesmas. Se você perguntasse a um *outsider* competente como ele justificaria sua crença, ele se referiria ao histórico das ciências em fornecer conhecimento confiável, à falta de viés discernível, ao papel da revisão por pares e à importância do consenso. Tais critérios são o que o *outsider* competente emprega criteriosamente para alcançar indiretamente uma visão informada sobre se as alegações feitas sobre a mudança climática são confiáveis e dignas de confiança.

Um *outsider* competente justificaria sua crença em uma afirmação científica referindo-se ao histórico das ciências em fornecer conhecimento confiável, a falta de viés discernível, o papel da revisão por pares e a importância do consenso.

Na ausência de nosso próprio conhecimento, é racional confiarmos nos outros com base em sua credibilidade profissional entre seus pares. No entanto, ao fazer julgamentos sobre 'expertise', uma tendência comum é confiar na reputação da fonte - ou seja, como seu status social é percebido por nós e por outros [29]. Em certo sentido, isso é simplesmente um atalho cognitivo eficiente. Na falta de tempo, tendemos a acreditar naqueles que consideramos líderes ou bem-sucedidos. O sucesso em um campo, no entanto, não é um indicador de expertise em outro.

O problema com o uso de critérios sociais como meio de julgar em quem acreditar é que isso pode levar a cascatas informacionais [29]. Essas ocorrem quando um grupo de pessoas aceita uma opinião sem qualquer evidência de sua validade e, então,

dissemina para outros – algo prontamente facilitado pelas mídias sociais. “As cascatas se desenvolvem porque as pessoas ‘compram’ opiniões... sem verificar o que estão comprando, porque todos os outros em sua comunidade aparentemente fizeram a mesma compra.” Nessa situação, as pessoas confiam em uma forma de “inteligência coletiva” que seleciona para elas as opiniões “aceitáveis”. Nosso raciocínio é que, se todos compartilham dessa opinião, deve haver boas razões para acreditar nela, mesmo que deixemos de investigar quais são essas razões [29]. Julgamentos de reputação e confiabilidade podem então surgir simplesmente de nossas percepções da fonte da informação, e não se eles têm conhecimento relevante. Essa tendência pode ser reforçada pelo medo de adquirirmos nós mesmos uma má reputação por não adotarmos a norma do grupo. Por exemplo, aqueles que vivem em comunidades onde a subsistência depende de combustíveis fósseis, provavelmente estarão imersos em uma comunidade que questiona a existência da mudança climática.

Em uma era de desinformação, as perguntas iniciais, quando confrontadas com qualquer alegação de saber, devem ser: esta fonte de informação deve ser acreditada? Que evidências existem para conferir expertise e credibilidade? Resumindo, é confiável? Tal disposição deve vir do reconhecimento de que há limites para o que podemos saber e de que dependemos da expertise de outros [9,10]. Avaliar a expertise, portanto, exige que perguntemos primeiro, não se uma afirmação é verdade, mas uma questão muito diferente: devemos acreditar nessa fonte? E isso requer uma política de circunspeção – uma postura que sabe que “quando a maioria dos experts está de acordo, a opinião oposta não pode ser considerada certa”. [15] De fato, no caso da ciência, é muito provável que seja falsa.

O grande desafio é que a Internet é um ambiente de informação relativamente novo. Não saber navegar na web e nos recifes e rochas que podemos encontrar pode ser perigoso. Os jovens precisam entender os princípios básicos que os permitam evitar os perigos que podem encontrar. Portanto, a educação em mídia digital deve ser um requisito básico em todas as disciplinas para permitir que os estudantes se orientem e naveguem, neste mar traiçoeiro de informações, de maneira informada e competente. Ou, em outras palavras, se vamos ficar soltos no mar, ajuda se tivermos uma licença para navegar.

O desafio mais restrito e específico deste relatório é que muitas dessas informações têm um elemento científico. Para avaliar isso, o que o *outsider* competente precisa entender é que, para que a informação científica seja crível, ela deve passar por uma série de processos (discutidos abaixo) conduzidos por cientistas experts com expertise no domínio relevante [16,30-32]. Esses processos permitem que as informações científicas sejam examinadas de várias perspectivas dentro da comunidade para garantir que as informações sejam confiáveis. Embora o processo não seja perfeito, ele elimina a maior parte do conhecimento que não é confiável. Além disso, o trabalho credível constitui um edifício de conhecimento que foi construído ao longo de décadas, senão séculos. Compreender como o conhecimento é estabelecido na ciência e como o acordo consensual emerge de suas normas e estruturas institucionais é vital para estabelecer confiança na ciência. E, se esse conhecimento e compreensão não forem desenvolvidos pela educação em ciências formal, onde mais o serão?

Em suma, cientistas e educadores de ciências têm uma responsabilidade nova e crítica de garantir que seus estudantes estejam equipados com o conhecimento e as estratégias que possam protegê-los contra os vendedores de óleo de cobra e os agentes da duplicidade que habitam a Internet. Parte desse conhecimento é de domínio geral e parte é específico da ciência. Desenvolver esse entendimento ofereceria aos estudantes uma

O grande desafio é que a Internet é um ambiente de informação relativamente novo. Não saber navegar na web e nos recifes e rochas que podemos encontrar, pode ser perigoso.

competência que é duradoura e que pode ser utilizada independentemente do conhecimento do conteúdo de qualquer ciência específica. No contexto de hoje, qualquer educação em ciência que não explique por que e quando a ciência pode ser confiável presta um desserviço à realização intelectual e moral das ciências, e um desserviço a seus futuros cidadãos [32-34]. Sem esse conhecimento, os indivíduos estão simplesmente à deriva no mar.

Compreender como o conhecimento é estabelecido na ciência e como o acordo consensual emerge de suas normas e estruturas institucionais é vital para estabelecer confiança na ciência.

2. QUE EVIDÊNCIAS EXISTEM DE QUE OS JOVENS TÊM DIFICULDADE PARA AVALIAR INFORMAÇÕES COM SUCESSO?

Uma suposição comum é que os estudantes são nativos digitais. Imersos na tecnologia digital, os jovens adquirem as habilidades necessárias para usar a tecnologia atual de maneira fluida e informada. As evidências sugerem o contrário.

Uma suposição comum é que os estudantes são nativos digitais [35,36]. Imersos na tecnologia digital, os jovens adquirem as habilidades necessárias para usar a tecnologia atual de maneira fluida e informada. As evidências sugerem o contrário. Jovens e adultos têm dificuldade para avaliar informações [37,38]. Uma pesquisa de 2019 realizada por Breakstone *et al.* (2021), com 3.446 estudantes do ensino médio, revelou grandes deficiências na capacidade dos estudantes de avaliar a credibilidade das fontes *online* [38]. Por exemplo, 52% dos estudantes disseram que um vídeo do Facebook que mostrava o preenchimento de cédulas durante as eleições primárias democratas de 2016 (um vídeo que veio da Rússia – um fato facilmente estabelecido ao pesquisar por “vídeo de fraude eleitoral de 2016”) constituía uma “forte evidência” de fraude eleitoral nos Estados Unidos. Os autores afirmam que “nove em cada dez estudantes não conseguiram apresentar uma justificativa convincente para rejeitar o vídeo”. [39]

Os estudantes costumam dizer, quando entrevistados, que baseariam suas avaliações na credibilidade da fonte de informação. Porém, na prática, costumam ignorar as fontes [37,40,41]. Em vez disso, os estudantes geralmente baseiam suas avaliações em recursos superficiais, como a aparência visual de um site ou a relevância das informações fornecidas [42,43]. Além disso, os estudantes têm dificuldade em distinguir anúncios ou conteúdo patrocinado de notícias ou outro conteúdo imparcial. Isso é especialmente um problema em um ambiente online onde há ganho monetário a partir de anúncios incorporados e provedores de mídia que usam perfis psicológicos e informações pessoais para direcionar suas exibições e links [2,42].

Esta pesquisa de 2019 ainda revelou que os estudantes julgaram os sites de forma esmagadora com base em seu próprio domínio de nível superior (ou seja, se um site era .com ou .org), sua aparência e design, links para outros sites e informações contidas na página ‘Sobre’ [44]. No entanto, a crença predominante de que um ‘.org’ pode ser confiável como uma fonte independente de informação é incorreta [45]. Por exemplo, mesmo sites muito unilaterais, como answeringgenesis.org ou 911truth.org, usam URLs .org. E, como Wineburg e Ziv apontam, “enquanto notáveis organizações sem fins lucrativos, organizações cívicas e grupos religiosos adotaram o domínio – o mesmo aconteceu com uma série de atores ruins”. Estudantes de todos os grupos demográficos se saíram mal, geralmente fazendo a suposição defeituosa de que quanto mais alto um site está nos resultados da pesquisa, mais confiável ele é [37]. Raramente os estudantes saíam do site original para consultar outras fontes.

Uma sociedade democrática depende do acesso ao conhecimento verdadeiro e confiável e da capacidade de distinguir o conhecimento que é falho, incompleto ou que visa enganar daquele em que se pode confiar. Assim, o abismo entre a percepção pública da competência dos jovens e seu desempenho real [37,46,47] representa uma ameaça crescente para a sociedade, principalmente quando a desinformação prolifera e os jovens passam cada vez mais tempo em dispositivos digitais.

Em suma, um corpo esmagador de evidências sugere que, embora os estudantes sejam nativos digitais em suas facilidades com a tecnologia, eles permanecem novatos digitais em sua capacidade de avaliar a credibilidade e a qualidade das informações que encontram. Eles podem estar no mar digital, mas estão sem leme, sem as ferramentas básicas de navegação que garantiriam que não fossem enganados. E, sem alguma fluência básica, como eles podem obter informações científicas confiáveis que possam informar melhor suas ações pessoais e nossas tomadas de decisão coletivas?

Em suma, um corpo esmagador de evidências sugere que os estudantes não são tanto nativos digitais quanto novatos digitais. Eles podem estar no mar digital, mas estão sem leme, sem as ferramentas básicas de navegação que garantiriam que não fossem enganados.

3. POR QUE É UMA PRIORIDADE URGENTE PARA CIENTISTAS E EDUCADORES EM CIÊNCIAS DESENVOLVER A COMPETÊNCIA DOS ESTUDANTES PARA AVALIAR INFORMAÇÕES?

Neste ponto, o leitor pode estar se perguntando por que a educação em ciências deveria assumir qualquer responsabilidade pelo desenvolvimento da alfabetização midiática digital e informacional nos jovens? Certamente esta é a função da educação cívica? E de qualquer maneira, pelo menos nos EUA, algumas dessas questões não são abordadas pelo documento *Next Generation Science Standards* (NGSS)? Embora entendamos esse argumento, nossa visão é que o contexto mudou significativamente desde que esses padrões foram escritos há uma década. O desafio colocado à ciência pela era da desinformação é grave. De fato, tão grave que exige uma resposta educacional dos educadores em ciências.

Por quê? Porque, fundamentalmente, muitas das questões que enfrentamos hoje têm uma base científica. Em 2021, por exemplo, as pessoas perguntaram:

- As máscaras faciais são essenciais para controlar a propagação da COVID?
- A mudança climática é responsável por inundações, secas e outros eventos extremos?
- As vacinas são eficazes?
- Quão perigosa é a variante Omicron da COVID-19?
- Como evitamos incêndios florestais ou mitigamos inundações?

E então há questões em andamento, como: os alimentos transgênicos são seguros para comer; como podemos minimizar melhor a poluição; e como posso levar um estilo de vida mais ecológico? Então, como um não expert, que não conhece a ciência, pode responder a essas perguntas? Questões em que a compreensão de como a ciência produz conhecimento confiável podem contribuir claramente para uma resposta informada e confiável. Pois, a menos que cientistas, educadores em ciências e divulgadores da ciência informem seu público sobre porquê e em quem confiar, outros ocuparão este espaço.

O fato de que a ciência ocupa um importante terreno epistêmico é demonstrado pelo fato de que mesmo os anti-vacina e negacionistas do clima geralmente escondem sua desinformação na linguagem da ciência, usando-a para lançar dúvidas sobre o consenso científico [16,48]. Por exemplo, a indústria de combustíveis fósseis avançando com afirmações "científicas" sobre a mudança climática. Muitas vezes, semear a dúvida é tudo o que é necessário para desafiar a autoridade das pesquisas científicas, mesmo quando há um consenso bem estabelecido produzido por uma comunidade científica ampla, internacional e diversificada. Entender o significado do consenso na ciência requer algum conhecimento de como ele foi produzido pelos cientistas e suas práticas sociais. Os educadores de ciências, portanto, devem explicar por que e quando as afirmações científicas no discurso público podem ou não ser confiáveis.

Quais capacidades são necessárias? Em suma, o outsider competente precisa fazer uma

O fato de a ciência ocupar o terreno epistêmico é demonstrado pelo fato de que mesmo os anti-vacinas e os negacionistas do clima geralmente escondem sua desinformação na linguagem da ciência.

série de perguntas bem definidas e entender seu significado. Algo que só acontecerá se os estudantes tiverem sido ensinados sobre sua importância. A Figura 1 oferece uma visão geral esquemática da abordagem que acreditamos ser necessária para avaliar afirmações científicas na Internet.

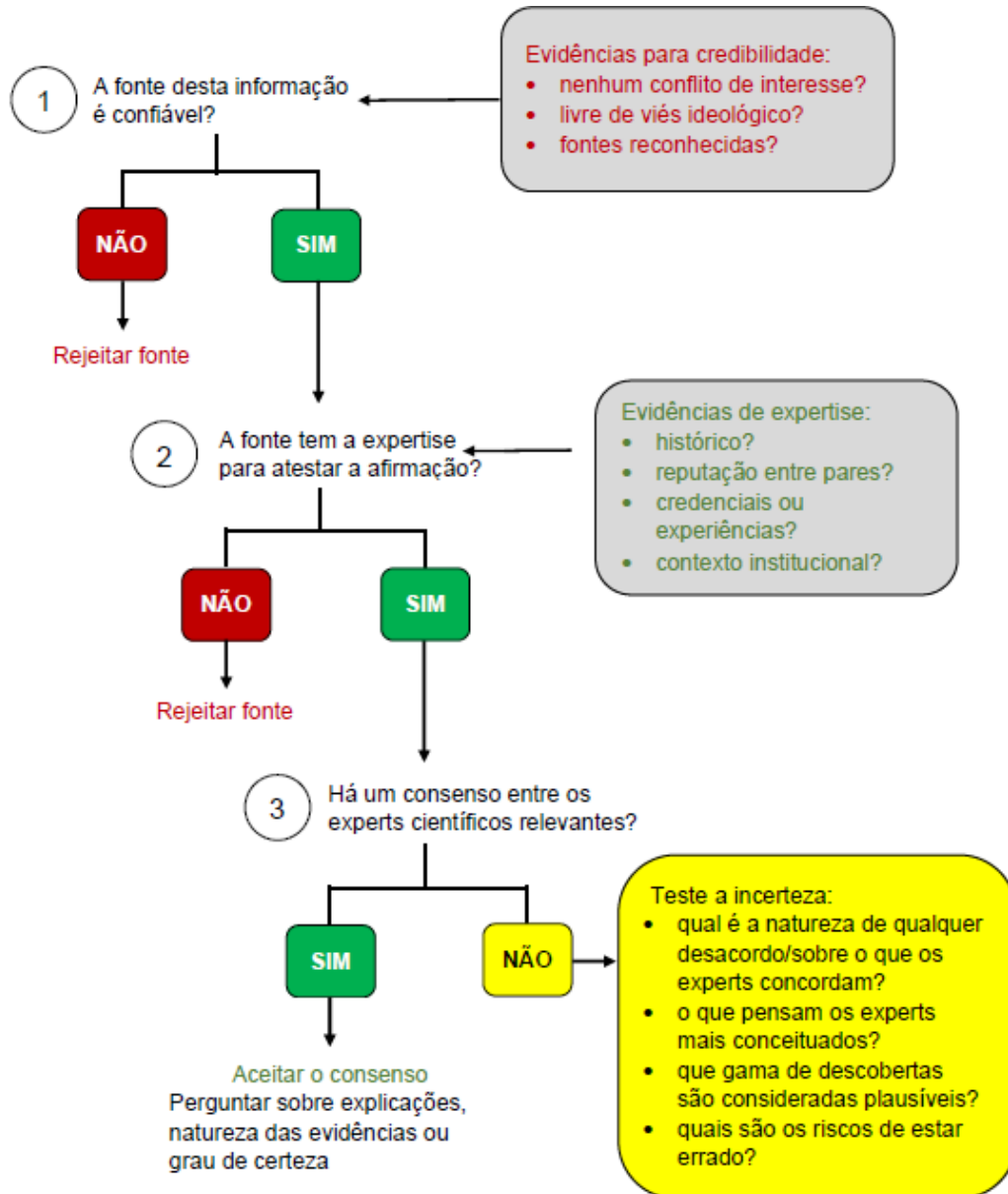


Figura 1: Uma árvore de decisão para avaliarmos informações científicas

Confrontado com uma afirmação científica desconhecida, as perguntas iniciais devem ser: este indivíduo/organização tem conflito de interesses? Há evidências de que eles podem ser motivados por investimentos econômicos ou interesses políticos? Se alguma resposta for sim, muitas das informações têm o mesmo valor de um anúncio pago e devem ser consideradas com alto grau de ceticismo.

Somente quando a pesquisa inicial sugere que não existe conflito é que vale a pena investigar as seguintes questões:

- O indivíduo/organização possui expertise relevante?
- Qual é a posição do autor dentro da comunidade científica?
- Eles têm um histórico de integridade?
- O autor tem as credenciais apropriadas ou outra expertise relevante?
- Existe um forte consenso científico entre os experts? Se não, o que pensa a maioria dos cientistas?
- Quão certa das afirmações está a comunidade científica?
- A descoberta foi examinada por experts semelhantes e em que grau?

Essas perguntas são essenciais para uma “leitura inicial da sala”. Basicamente, qual é a natureza do debate? Quanto ou quão pouco acordo existe? Para obter uma resposta no mundo de língua inglesa, a Wikipedia é um bom lugar para começar. Os sites das principais instituições científicas, como a National Academies of Science (www.nap.edu), e da mídia de notícias bem estabelecida também são fontes confiáveis de informação.

O leitor deve observar que o foco dessas questões está nas práticas sociais que a comunidade científica usa para vetar afirmações de conhecimento. Uma compreensão das respostas é informada por um conhecimento da natureza social da ciência – suas normas, valores e práticas. No entanto, nada disso é comumente ensinado. Só é compreendido por pessoas de dentro – os cientistas e engenheiros praticantes – e mesmo assim, muitas vezes não totalmente [49,50]. Se o objetivo é desenvolver cidadãos cientificamente alfabetizados, então uma meta central e objetivo da educação científica deve ser uma compreensão de como os mecanismos sociais funcionam dentro de uma comunidade científica, para permitir a produção de conhecimento confiável [27,51,52]. No entanto, esse aspecto social das ciências está notavelmente ausente de quase todos os currículos escolares de ciências e da educação dos estudantes de graduação. E se esse conhecimento é tão vital para o envolvimento com as afirmações científicas e para validar a confiabilidade dos experts, onde mais ele será ensinado senão nas aulas de ciências da escola e da graduação?

Essencialmente, os estudantes precisam sair de sua educação científica formal com alguma compreensão do seguinte: os indicadores tradicionais que sinalizam quem é um expert em ciência; o papel da revisão por pares; a importância do consenso entre os cientistas; a posição do periódico, publicação ou instituição, seja governamental (por exemplo, IPCC, CDC, NOAA) ou científico (por exemplo, National Academies, Royal Society etc.).

Além disso, outsiders competentes precisam saber que a ciência valoriza seu compromisso com as evidências como base principal de sua crença, e que esse compromisso é fundamental para a confiabilidade de suas alegações de conhecimento [32,53,54]. E, embora pequenos erros na ciência sejam comuns, as estruturas sociais da ciência são organizadas para expor e remediar esses erros [55]. No entanto, raramente ensinamos aos estudantes as maneiras e os meios que a comunidade científica desenvolveu para protegê-los contra o erro. E, novamente, se eles não forem ensinados na escola ou na graduação, como esse entendimento será adquirido?

Desenvolver a habilidade de avaliar evidências é fundamental para cientistas profissionais. É menos para outsiders competentes, pois a capacidade de interpretar evidências depende do conhecimento [26,56], e outsiders competentes geralmente

○ foco das questões que vale a pena perseguir está nas práticas sociais que a comunidade científica usa para vetar afirmações de conhecimento.

Outsiders competentes geralmente carecem do conhecimento necessário para avaliar as conclusões dos dados brutos, por melhor que possam ser explicados.

carecem do conhecimento necessário para avaliar as conclusões dos dados brutos, por melhor que possam ser explicados. Consequentemente, é fácil ser enganado por indivíduos cujo argumento é camuflado pela linguagem da ciência. Por exemplo, os céticos das mudanças climáticas argumentaram que a expansão do gelo marinho em 2014 era uma evidência irrefutável de que os temores dessa mudança climática eram infundados.¹ Na superfície, a expansão do gelo marinho em um ambiente em aquecimento parece anômala. No entanto, um exame mais detalhado mostra que o caso dos céticos sofre de duas falhas. A primeira é a confusão entre mudança climática (um padrão de longo prazo observado ao longo de décadas, senão séculos) e clima (uma variação de curto prazo nas condições atmosféricas locais). O que importa é a tendência de longo prazo, não prejudicada por exceções de curto prazo.

Em segundo lugar, a água liberada pelo derretimento do gelo é água doce, que é menos densa que a água do mar e, portanto, flutua na superfície. Além disso, a água doce congela a uma temperatura mais alta que a água do mar e produz mais gelo. A resposta abrangente é complexa e ainda não totalmente compreendida pelos cientistas. No entanto, não se pode esperar que a maioria das pessoas de fora identifique as falhas em tais alegações.

Embora a educação em ciências tenha historicamente desempenhado um papel em introduzir ideias científicas específicas aos estudantes, simplesmente não é possível apresentar todas as ideias de que os jovens precisarão pelo resto de suas vidas.

Embora a educação em ciências tenha historicamente desempenhado um papel em introduzir ideias científicas específicas aos estudantes, simplesmente não é possível apresentar todas as ideias de que os jovens precisarão pelo resto de suas vidas. [4,28,57]. Além disso, a maioria das questões contemporâneas relacionadas à ciência requerem conhecimento científico que não é ensinado nas escolas [28]. A pandemia de COVID-19, por exemplo, exigiu a compreensão do que são os vírus, como são transmitidos, como se reproduzem, como afetam o corpo e por que e como mudam. Compreender o número de casos e mortes exige uma compreensão do crescimento exponencial, representações logarítmicas e muito mais. Em suma, a ciência escolar não pode prever que tipo de conhecimento científico será necessário para lidar com a próxima crise humanitária relacionada à ciência. Além disso, a ciência de hoje (ou seja, edição de genes com técnicas como CRISPR) simplesmente não existia uma década atrás. Da mesma forma, daqui a três décadas, que conhecimento científico novo haverá que não tenha sido abordado na educação formal?

Em tal contexto, que conhecimento seria de valor geral e duradouro? Assim como as principais ideias da ciência que moldam nossa compreensão do mundo material, argumentamos que é o conhecimento necessário para avaliar a credibilidade de uma fonte. Por exemplo, o conhecimento que permite que você determine se deve acreditar no argumento acima contra a mudança climática ou se deve decidir se a NASA é uma autoridade científica confiável. Responder à questão-chave de 'Esta afirmação científica pode ser confiável?' requer uma compreensão das estruturas sociais da ciência. Portanto, desenvolver esse entendimento deve ser um componente central fundamental de toda a educação em ciências, do berço ao túmulo – uma característica da educação em ciências formal e informal e da comunicação científica.

Tal foco está faltando porque os referenciais atuais para a educação em ciências foram desenvolvidos para um contexto muito diferente. Agora estamos vivendo em uma era de informações errôneas e desinformação. Até o momento, o foco comum da educação em ciências tem sido os conceitos fundamentais necessários para se tornar um cientista profissional. Tais currículos dão preeminência às ideias centrais disciplinares. Nos EUA, o NGSS dedica um tempo substancial a "práticas científicas" e à medição de resultados baseados em desempenho. Algo que vemos como uma melhoria notável.

¹ Veja earthdata.nasa.gov/learn/sensing-our-planet/unexpected-ice para uma melhor descrição

No entanto, o foco ainda é interno à ciência e não naquilo que o outsider competente precisa saber. Embora a prática do NGSS de “obter, avaliar e comunicar informações” possa parecer atender às nossas preocupações, ela precisa de uma elaboração muito mais detalhada das capacidades e conhecimentos necessários. Por exemplo, os padrões NGSS afirmam que os estudantes devem “reunir, ler e avaliar informações científicas de várias fontes confiáveis”, mas não especificam os princípios pelos quais um aluno deve julgar uma fonte como “confiável”.

O que importa na ciência é a produção de conhecimento confiável e digno de confiança (embora não infalível) para informar e orientar nossa tomada de decisão e ação [11,58]. No entanto, o compromisso da ciência em produzir conhecimento confiável nunca é explicitamente comunicado na educação em ciências [59]. E se a ciência e a educação em ciências raramente explicam por que o conhecimento científico pode ser confiável, como ele pode ser valorizado por pessoas de fora?

Em suma, o contexto cultural da mídia mudou dramaticamente na última década e o que era adequado ontem é inadequado hoje. A sociedade de hoje exige que os estudantes recebam as ferramentas de hoje. O que essas podem ser?

No entanto, o compromisso da ciência com a produção de conhecimento confiável nunca é explicitamente comunicado na educação em ciências. E se a ciência e a educação em ciências raramente explicam por que o conhecimento científico pode ser confiável, como ele pode ser valorizado por pessoas de fora?

4. O QUE PODE SER FEITO POR CIENTISTAS E EDUCADORES EM CIÊNCIAS PARA DESENVOLVER A COMPETÊNCIA PARA AVALIAR INFORMAÇÃO CIENTÍFICA E EXPERTISE?

Noções básicas de alfabetização midiática digital e informacional

O quadro pintado até agora pode parecer sombrio. No entanto, estudantes de escolas e universidades podem aprender estratégias para avaliar táticas enganosas comuns e informações online. Um corpo considerável de trabalho sobre o que pode ser feito na educação foi realizado por um grupo baseado em Stanford [39,42,44] e pelos Suomi (nativos da Finlândia) [60]².

Ao desenvolver nossas recomendações, nos baseamos, em particular, em estudos recentes nos EUA [67] sobre como os verificadores de fatos e jornalistas profissionais avaliam as informações na web - uma abordagem que também foi testada empiricamente com estudantes [39,60]. Isso mostra que os verificadores de fatos especializados começam se orientando. Eles se abstêm de perguntar 'esta informação deve ser acreditada?' Em vez disso, eles começam fazendo a pergunta muito mais fundamental de 'esta fonte é confiável?' A primeira tarefa para o leitor online competente é localizar onde eles estão [68]. Por quê? Porque, como qualquer explorador habilidoso, os verificadores de fatos sabem que, quando alguém está perdido, é importante estabelecer sua posição. Assim, a primeira pergunta deve ser 'Quem está por trás dessa história?' Em suma, o foco inicial deve ser questionar a fonte, e não o conteúdo, sua justificativa ou evidências de apoio. Da mesma forma, Bergstrom e West defendem três questões-chave: 1) Quem é a fonte? 2) Como eles sabem disso? e 3) O que eles estão tentando me vender? [69]

Orientar-se é essencial ao navegar em um mar desconhecido. Assim, os verificadores de fatos especializados geralmente deixam a página da web aonde chegaram em 30 segundos e abrem uma nova guia no navegador da web. Em seguida, eles procuram informações sobre a fonte - uma estratégia conhecida como "leitura lateral". Eles usam sites como Wikipedia, Sourcewatch.org e Snopes.com para avaliar não as informações apresentadas, mas a própria fonte, abordando a questão de saber se são independentes e confiáveis. No caso da informação científica, existem organizações científicas bem estabelecidas cuja credibilidade depende do fornecimento de informações científicas confiáveis, como as Academias Nacionais, a Royal Society e os Centros de Controle e Prevenção de Doenças (CDC) dos Estados Unidos.

A questão crítica inicial é se a fonte é independente, objetiva e confiável, ou se apresenta um conflito de interesses ou um determinado viés ideológico ou político. Somente quando a credibilidade da fonte é estabelecida, os verificadores de fatos especializados retornam à própria página. Estudantes não treinados, ao contrário,

Estudos mostram que os experts verificadores de fatos começam se orientando. Eles se abstêm de perguntar 'esta informação deve ser acreditada?' Em vez disso, eles começam fazendo a pergunta muito mais fundamental de 'essa fonte é confiável?'

² Além disso, um corpo considerável de trabalho foi realizado com intervenções da ciência comportamental para combater a desinformação. Estes incluem (mas não estão limitados a) "nudges de precisão" [61]; "inoculação" [6, 62-63]; "atrito" [64]; "dicas para alfabetização digital" [65]; e "desmistificação" [66].

geralmente permanecem na página e tentam avaliá-la, ou se desviam para outras fontes sobre o mesmo tópico, que muitas vezes são singularmente inúteis [42]. A leitura lateral é, então, uma ferramenta básica, que pode ser usada pelo outsider competente para determinar a credibilidade da fonte.

Outra estratégia é 'restrição de cliques'. Os verificadores de fatos não apenas suspeitam da fonte, mas também têm uma orientação crítica para os resultados da pesquisa. Notavelmente, eles verificam a página de resultados e decodificam os trechos de informações antes de decidir qual pode valer a pena buscar. Normalmente, eles não perseguem os melhores resultados, mas param para considerar quais parecem ter mais probabilidade de fornecer as informações desejadas antes de prosseguir.

Os verificadores de fatos experientes não apenas suspeitam da fonte, mas também têm uma orientação crítica para os resultados da pesquisa. Notavelmente, eles examinam a página de resultados e decodificam os fragmentos de informações antes de decidir qual pode valer a pena buscar.

A restrição de cliques é inestimável por dois motivos. Primeiro, os resultados de qualquer pesquisa dependem muito dos termos. A pesquisa por "verdade sobre mudança climática" produz um conjunto de resultados muito diferente da pesquisa por "mudança climática falsa". Em segundo lugar, a ordem dos resultados pode ser tendenciosa. Normalmente, as fontes pagas aparecerão primeiro. Mais sutilmente, o algoritmo de busca pode ser manipulado por uma escolha cuidadosa de terminologia ou por estatísticas de volume infladas artificialmente. Portanto, os principais resultados geralmente não são os mais relevantes ou os mais informativos. Assim, a restrição de cliques não apenas fornece melhores informações, mas também é altamente eficiente em minimizar a quantidade de tempo que o usuário fica perdido no mar.

Notavelmente, as abordagens dos verificadores de fatos profissionais diferem significativamente de muitas abordagens da alfabetização midiática digital e informacional comumente defendidas que oferecem listas de verificação para avaliar as fontes. Como os pesquisadores mostraram, essas listas de verificação - por exemplo, a chamada CRAAP (circulação, relevância, autoridade, precisão, propósito) - não ajudam a expor engano ou duplicidade. Por quê? Porque eles não perguntam principalmente sobre a credibilidade da fonte. Em vez disso, eles colocam muita ênfase na capacidade individual de analisar o conteúdo ou o argumento. Eles falham em reconhecer adequadamente a natureza limitada da racionalidade humana e a importância de primeiro verificar a credibilidade da fonte. O resultado é que eles deixam a maioria das pessoas sem saber que o argumento em si era falho e que eles estavam sendo enganados [70].

As estratégias dos verificadores de fatos, em contraste, são semelhantes às rotinas que melhoraram o desempenho em um amplo espectro de campos [71] (por exemplo, pilotar um avião ou conduzir procedimentos cirúrgicos). Essas decisões classificam em ordem de importância, em uma série de desdobramento lógico, oferecendo uma saída potencial em cada ponto [72]. Se quisermos melhorar a alfabetização midiática digital e informacional, adquirir as rotinas básicas de verificadores de fatos profissionais deve se tornar um elemento essencial de toda a educação formal - do jardim de infância à graduação. Essas ferramentas simples estabelecerão uma rotina para os estudantes das primeiras perguntas que devem ser feitas para estabelecer credibilidade. Todos os estudantes (e, nesse caso, todos os adultos) precisam dessas rotinas de verificação de fatos para avaliar qualquer nova informação que cruze seu arco (veja a Figura 1 para um exemplo).

Os leitores online também se beneficiarão de uma compreensão básica de como a Internet é estruturada, incluindo como uma SERP (página de resultados do mecanismo de pesquisa) é organizada e como decodificar as convenções do Google (como os três pontos verticais por uma URL que mostram onde e com que profundidade o resultado vem). E que a maioria dos sites é moldado por decisões algorítmicas que influenciam o que as pessoas veem, com base em dados sobre o visualizador [2,70].

Mais importante ainda, todo esse conhecimento de como se envolver criticamente com a informação digital precisa ser explicitamente ensinado e adquirido como um hábito arraigado a partir da 2ª série. Assim como você não pode aprender a tocar piano em uma hora, essa competência também não pode ser adquirida em uma única aula.

Mais importante ainda, todo esse conhecimento de como se envolver criticamente com a informação digital precisa ser explicitamente ensinado e adquirido como um hábito arraigado a partir do Ensino Fundamental. Assim como você não pode aprender a tocar piano em uma hora, essa competência também não pode ser adquirida em uma única aula. A alfabetização midiática digital e informacional deve ser ensinada e praticada até que se tome tão natural quanto andar de bicicleta. Esta é a abordagem que os Suomi adotaram no desenvolvimento de um currículo coerente para educar seus jovens desde o jardim de infância até a conclusão do ensino médio [60]. A pesquisa mostrou que mesmo seis horas de treinamento nessas técnicas de verificação de fatos podem melhorar significativamente o desempenho [73]

A Prática Social da Ciência

Os currículos atuais são inadequados para os desafios que levantamos aqui. Mesmo que a 'Alfabetização Científica para Todos' seja adequadamente abordada pelos currículos atuais, nenhum foi escrito para enfrentar os desafios colocados por esta era de desinformação, teorias da conspiração e ataques à ciência legítima. Que conhecimento, então, é necessário para esta tarefa?

Os Indicadores de Expertise em Ciência

Se não houver conflito de interesse aparente em uma fonte ou evidência de parcialidade, o outsider competente precisa estabelecer se a fonte possui conhecimento relevante. A ciência não é um tipo de democracia onde, no interesse do equilíbrio, ambos os lados de um argumento têm voz igual. Em vez disso, o outsider competente é forçado a confiar em experts. Aqueles que carecem de conhecimento relevante – independentemente de sua estatura social ou reputação – simplesmente não têm autoridade para falar em nome da ciência. Mas o que constitui expertise - ou expertise relevante?

A pesquisa indica que mesmo os indivíduos bem-educados nas formas tradicionais de pensamento crítico não são proficientes na avaliação de fontes pela sua expertise [74,75]. No caso de qualquer alegação científica, uma questão crucial é: 'este indivíduo é um expert reconhecido na área?' Ao escolher um advogado, um encanador ou um arquiteto, buscamos evidências de expertise: a certificação, as licenças profissionais ou as recomendações reputacionais que nos levariam a confiar na qualidade de seu julgamento. Mas como julgar a expertise de um cientista? A resposta é que os critérios apropriados se assemelham aos de outros experts, ou seja, julgamentos de outros experts relevantes, seu histórico de trabalho no campo, juntamente com uma consciência de possíveis vieses e interesses [11,76]. As perguntas que devem ser feitas são:

1. Qual é seu histórico e, especificamente, seu histórico de publicações na área?
2. Qual é a sua posição dentro de seu campo de pesquisa? Por exemplo, eles são membros de um corpo científico reconhecido ou ganharam um prêmio por seu trabalho científico? Cada grupo profissional tem vigilantes, conselhos e autoridades de certificação que fiscalizam seus próprios membros para garantir que eles cumpram os padrões da profissão e garantam que estão qualificados para exercê-la.

Mas como julgar a expertise de um cientista? A resposta é que os critérios apropriados se assemelham aos de outros experts: ou seja, julgamentos de outros experts relevantes, seu histórico de trabalho no campo, juntamente com uma consciência de possíveis tendências e interesses.

3. Que qualificações eles têm? É um doutorado na área? Ou eles têm outra experiência relevante, além das credenciais formais?
4. Onde eles trabalham? É para um órgão científico ou instituição de pesquisa reconhecida?
5. Existe alguma evidência de potencial viés ou interesse pecuniário?

Tornar-se um cientista praticante requer anos de treinamento - geralmente, no mínimo, um diploma de graduação e, para a maioria, um doutorado. Mesmo um PhD marca apenas o conhecimento especializado de um campo muito pequeno, que não é facilmente transferível. A expertise também pode ser adquirida a partir da formação profissional em ciências ou da experiência em trabalhos qualificados em determinados contextos, tais como: enfermeiras e parteiras que trabalham com pacientes; conhecimento dos agricultores sobre o meio ambiente; ou a compreensão dos pescadores sobre práticas sustentáveis. Aqueles que carecem de qualquer forma de expertise não merecem uma voz igual em um debate.

Apenas ser um cientista praticante, no entanto, não é suficiente. O indivíduo deve ser um cientista atuante no campo relevante... No entanto, os críticos da ciência frequentemente alistam um expert em um campo da ciência para desafiar o consenso científico em outro.

Apenas ser um cientista praticante, no entanto, não é suficiente. O indivíduo deve ser um cientista praticante no campo relevante. Ser um ganhador do Prêmio Nobel em um campo não o torna um expert em outros campos. No entanto, os indivíduos podem facilmente agrupar todos os cientistas como "autoridades" indiferenciadas. Um expert em radiologia não é alguém a quem você pediria conselhos sobre vírus³. Ser um cientista em um campo da ciência não o torna um expert em todos os campos da ciência. Um cosmólogo teórico não sabe mais sobre ecologia do que qualquer outro outsider competente. No entanto, os críticos da ciência costumam recrutar um expert em um campo da ciência para desafiar o consenso científico em outro campo, geralmente usando evidências duvidosas ou manipuladas estatisticamente.

Por exemplo, alguns físicos – veteranos famosos na pesquisa da bomba atômica – foram recrutados pela indústria do tabaco para questionar a associação entre fumar e câncer. Mais tarde, eles serviram à indústria do petróleo ao duvidar publicamente da ligação entre a queima de combustíveis fósseis e as mudanças climáticas. E, finalmente, eles fizeram desafios semelhantes ao papel dos fluoro carbonetos na destruição do ozônio e ao papel da queima de carvão carregado de enxofre na produção de chuva ácida. Em todos esses casos, eles não tinham expertise, nenhuma publicação e nenhum programa de pesquisa nas áreas relevantes. Nada do que eles alegaram foi apoiado por aqueles que eram experts nesses campos. No entanto, para o ingênuo não expert, que comumente considera todos os cientistas como um e mesmo, essa prática enganosa da mídia espalhou sementes de dúvida, conferindo legitimidade a tais afirmações espúrias. Uma estratégia semelhante foi, e continua sendo, extremamente eficaz em impedir ações para proteger o meio ambiente e a saúde pública [48,77]. O outsider competente tem que entender que todos os cientistas não são iguais. Expertise relevante importa.

Embora os critérios necessários para responder às cinco perguntas acima possam parecer óbvios para muitos leitores, eles não o são para estudantes que receberam pouca ou nenhuma educação sobre as normas e valores sociais que autorizam os indivíduos a reivindicar o status de um expert qualificado em ciência. Em suma, as medidas apropriadas de credibilidade (versus mera reputação) não são evidentes e devem ser ensinadas explicitamente – e ensinadas explicitamente no contexto da educação científica, onde mais isso será feito?

³ Um bom exemplo disso ocorreu recentemente quando o Dr. Scott Atlas, expert em radiologia, reivindicou a expertise para aconselhar o presidente Trump sobre como lidar com a Covid-19 e apresentou ideias que divergiam muito do consenso científico.

Como a comunidade científica pode esperar ser confiável quando não pede a seus educadores que expliquem o que justifica as afirmações de autoridade da ciência?

Como a comunidade científica pode esperar ser confiável quando não pede a seus educadores que expliquem o que justifica as afirmações de autoridade da ciência? Isso não quer dizer que os experts não devam ser questionados. Em vez disso, a compreensão de que quem pode reivindicar legitimamente ser um expert é um pré-requisito vital para avaliar qualquer afirmação científica. Apenas usar a linguagem da ciência – ou outros símbolos culturais da ciência, como jalecos brancos, gráficos e jargões – não garante a atribuição de expertise e não é suficiente para justificar crença.

Como a ciência produz conhecimento confiável

O outsider competente precisa entender como uma comunidade de cientistas, não apenas um único cientista ou laboratório, chega a conclusões confiáveis. Tal compreensão requer um conhecimento das práticas sociais que são parte integrante do trabalho de construção do conhecimento da ciência.

O estereótipo de um cientista solitário em um laboratório, que segue obedientemente as etapas prescritas do "método científico" e chega a uma verdade em um momento explosivo, semelhante a uma eureka, é altamente enganoso [78]. Além disso, não existe um método científico singular – muitas vezes concebido como uma espécie de procedimento quase algorítmico para a construção de novos conhecimentos. A racionalidade da ciência é garantida por um compromisso fundamental com a evidência empírica e por inferências extraídas dessa evidência [54,78]. Para atingir seus objetivos, as ciências desenvolveram uma caixa de ferramentas, que inclui muitos estilos de raciocínio, combinados com formas específicas de se proteger contra erros duradouros [55,80,81].

O NGSS pede aos estudantes que se envolvam nas práticas científicas que exigem raciocínio e evidências científicas, como projetar experimentos, argumentar a partir de evidências e desenvolver modelos. No entanto, isso é insuficiente. Não há "andaimos para levar os estudantes de práticas individuais isoladas" para uma compreensão das "práticas sociais e institucionais das várias comunidades" – as práticas que formam a base de nossa confiança na ciência [82].

Ao contrário da imagem estereotipada, é um conjunto de práticas sociais que é fundamental para transformar uma tentativa de afirmação científica em um fato geralmente aceito e sem problemas [83]. Em suma, crítica recíproca, detecção de erros e resolução de desacordos por meio de investigação, comunicação e publicação contínuas, juntamente com outras práticas para construir um consenso acordado.

Além disso, é necessária alguma consciência das capacidades, bem como dos limites da ciência. A incerteza é intrínseca às ciências e aparece de muitas formas. Cidadãos e jovens precisam entender como a incerteza limita as reivindicações da ciência para saber como ela lida com essa incerteza.

O que o observador competente pode esperar saber sobre o consenso científico, o papel da revisão por pares e a natureza da incerteza e suas implicações são três questões que abordaremos a seguir.

Consenso Científico

O objetivo da ciência é o consenso - alcançado quando a resposta a uma questão empírica é tão universalmente aceita que não é mais de grande interesse investigar, e o campo seguiu em frente. A maioria dos livros escolares de ciências trata de conhecimento dessa natureza - conhecimento inequívoco, não questionável

Sem sequer uma sugestão da diferença entre ciência bem estabelecida e consensualmente acordada e ciência contemporânea de ponta, é alguma surpresa que a educação em ciências formal deixe os indivíduos perplexos e confusos quando a ciência é incapaz de fornecer respostas confiáveis?

e inquestionável [83,84]. A ciência em formação, em contraste, é exatamente o oposto, pois lida com conhecimento equívoco e questionável, avançado por experts que podem discordar legitimamente – às vezes em público. A resolução leva tempo, mais investigação e vários estudos antes que um consenso surja. Sem nem mesmo uma sugestão da diferença entre ciência bem estabelecida e consensualmente aceita (a substância da educação em ciências formal) e ciência contemporânea de ponta (ciência em formação), é alguma surpresa que a educação em ciências formal deixe os indivíduos perplexos e confusos - ou mesmo irritados - quando a ciência é incapaz de fornecer respostas confiáveis?

Os cidadãos são frequentemente confrontados com a necessidade de informações para tomada de decisão e ação, onde a ciência pode ser incerta (por exemplo, se uma nova variante do vírus é uma ameaça maior do que as variantes anteriores). Em tais contextos, a primeira pergunta essencial é: "existe um consenso, ou consenso emergente, sobre esta questão?" No caso de mudança climática, evolução ou origem do universo, a resposta é um inequívoco "sim". No caso de ameaças representadas por novas variantes de vírus ou efeitos de longo prazo de novos tratamentos médicos, a resposta é menos certa e mais equívoca. Não surpreendentemente, os indivíduos estão confusos. E, sem qualquer noção dos critérios necessários para fazer um julgamento, o desafio é eloquentemente capturado pela declaração de um indivíduo de que: "Olhei na internet, havia 500 opiniões diferentes, simplesmente não sabia em quem confiar. Eu estava com medo e me desliguei." [85]

A importância do consenso científico pode ser vista nos esforços para confundir-lo na mídia pública. Um método é espalhar 'sementes de dúvida' (como mencionado anteriormente), outro é gerar a impressão de que existe outro consenso. Nesse sentido, longas listas de assinaturas contra o fato da mudança climática – por exemplo, a Declaração de Leipzig e o Protocolo de Oregon – foram reunidas para convencer o público de que havia um consenso "alternativo". Listas que foram desmascaradas como cheias de não experts e pessoas com conflitos de interesse. Ironicamente, tais tentativas reconhecem a autoridade epistêmica ligada ao consenso ao estabelecer reivindicações, na medida em que os pessimistas estão prontos para promover e organizar um falso consenso. Se o outsider competente deve ser preparado, ele precisa ser avisado e entender que é apenas um consenso de experts relevantes que importa.

Se não houver consenso, a posição legítima é duvidar de quem afirma saber. No entanto, se a evidência for inequívoca e o consenso entre aqueles com afirmações legítimas de expertise for esmagador, qualquer questionamento desse tipo deve ser visto com suspeita [15]. O consenso científico não é algum tipo de pensamento de grupo – uma ilusão em massa de experts. Foi estabelecido por um trabalho empírico extenso, cuidadoso e meticuloso que foi examinado criticamente em todos os estágios. Embora a ciência em formação esteja sempre aberta a questionamentos, uma voz solitária não tem o mesmo peso que a esmagadora maioria. Todas as vozes não são iguais. Os professores de ciências estão, portanto, totalmente justificados em defender a ciência estabelecida e o fato aceito, apesar de qualquer afirmação em contrário na mídia ou online. Na verdade, eles devem ver isso como uma parte essencial de seu papel. Afinal, os professores de ciências falam pela ciência e não é aceitável que eles ensinem design inteligente ou negação do clima [86].

Além disso, confrontados com qualquer questionamento do consenso científico, as questões que se seguem não são apenas "Quem fala?", mas também "Para quem eles falam?" Representam interesses comerciais, políticos ou ideológicos? Eles

O consenso científico não é algum tipo de pensamento de grupo – uma ilusão em massa de experts. Foi estabelecido por um trabalho empírico extenso, cuidadoso e meticuloso que foi examinado criticamente em todos os estágios.

ganham fazendo certas afirmações sobre a ciência e seu consenso?

Nossa visão é que a educação científica tem a responsabilidade fundamental de desenvolver uma compreensão dos mecanismos e práticas sociais da ciência para resolver divergências e alcançar seu objetivo de consenso; a falha em resolver esta questão não pode mais ser justificada. Tal omissão não apenas falha com a ciência, mas também falha com nossos futuros cidadãos. Assim, o mínimo exigido de qualquer educação em ciências formal é alguma compreensão da importância do papel do consenso na ciência para estabelecer nossa confiança.

Revisão por pares

A ciência é fundamentalmente um empreendimento social e colaborativo cujo objetivo comum é a construção de crenças justificadas e verdadeiras sobre o mundo material e vivo. O processo de revisão por pares, no qual novas alegações de conhecimento são examinadas por colegas que também são experts no mesmo domínio da ciência, fornece uma verificação importante, entre muitas, contra erros duradouros.

Visto estreitamente, o termo "revisão por pares" refere-se ao processo pelo qual colegas experts avaliam relatórios escritos para determinar sua adequação para publicação em revistas acadêmicas, anais de conferências ou livros. Esse entendimento básico é refletido na declaração do juiz Jones no *Kitzmiller v Dover School Board*, sobre o ensino do design inteligente:

A revisão por pares ajuda a garantir que os trabalhos de pesquisa sejam cientificamente precisos, atendam aos padrões de métodos científicos e sejam relevantes para outros cientistas no campo. Além disso, a revisão por pares envolve cientistas submetendo um manuscrito a um periódico científico da área, editores de periódicos solicitando revisões críticas de outros experts da área e decidindo se o cientista seguiu os procedimentos de pesquisa adequados, empregou métodos atualizados, considerou e citou literatura relevante e, em geral, se o pesquisador empregou ciência sólida [87].

O processo de revisão leva tempo e os revisores normalmente avaliam os manuscritos usando um conjunto de critérios amplamente reconhecidos:

- O trabalho é metodologicamente correto?
- As conclusões são justificadas pelos dados apresentados?
- O estudo constitui uma contribuição original para o conhecimento?
- As descobertas são suficientemente significativas para merecer o tempo e a atenção de editores e leitores?

No entanto, essa visão da revisão por pares é muito limitada e muito simplista. O processo de revisão por pares não é projetado para detectar todos os erros lógicos ou metodológicos em um estudo científico, muito menos para detectar fraudes deliberadas. Os revisores por pares não tentam replicar os experimentos ou mesmo as análises estatísticas descritas. Em vez disso, o trabalho dos autores é considerado conduzido de boa-fé, por pessoas com habilidades adequadas para realizar os procedimentos corretamente. Como tal, a revisão por pares não pode ser uma garantia de correção. Ao situar o trabalho no contexto de outras pesquisas, apenas enriquece o acervo de publicações de trabalhos considerados competentes e de contribuição para o conhecimento, por menor que seja.

Visto estreitamente, o termo "revisão por pares" refere-se ao processo pelo qual colegas experts avaliam relatórios escritos para determinar sua adequação para publicação em revistas acadêmicas, anais de conferências ou livros.

Nem as descobertas de todas as publicações revisadas por pares são de igual importância. O artigo de Crick e Watson sobre DNA, o de Mary-Claire King sobre a base genética do câncer de mama ou o de Jennifer Doudna e Emmanuelle Charpentier sobre CRISPR, por exemplo, têm muito mais significado do que 99% dos artigos publicados semanalmente, mesmo em um periódico como *Science*.

Embora o processo de revisão do manuscrito pré-publicação seja importante, há um sentido muito mais amplo no qual a ciência depende da revisão por pares. Os cientistas começam a examinar o trabalho uns dos outros muito antes de um manuscrito ser submetido a um periódico e continuam a fazê-lo muito depois da publicação. A maior parte do financiamento de pesquisa é alocado por meio de revisão por pares de propostas de bolsas competitivas. Os colegas criticam o trabalho uns dos outros nos estágios iniciais de desenvolvimento: em reuniões científicas; compartilhando rascunhos de documentos por meio de redes informais de comunicação; e em resposta a papéis de trabalho ou pré-impressões postados em repositórios online como arXiv, bioRxiv e medRxiv. Os cientistas também revisam e discutem o trabalho uns dos outros após a publicação dos relatórios, seja pessoalmente, por correspondência, em meta-análises da pesquisa sobre um determinado tópico ou em plataformas sociais e online, como pubPeer, que foram projetadas especificamente para este propósito. Essa verificação permite uma avaliação mais completa por meio da crítica de pares em todos os estágios do processo - o que permite a objetividade ao expor erros de execução e vieses de interpretação [88].

Como a revisão por pares antes da publicação é apenas uma verificação parcial da validade dos resultados da pesquisa, os cientistas confiam na natureza comunitária e colaborativa da investigação científica para estabelecer a confiabilidade dos resultados; isso é revisão por pares no sentido mais amplo. Além disso, uma afirmação individual sozinha raramente é suficiente. Estudos subsequentes são necessários, muitas vezes usando métodos diferentes, para confirmar novas conclusões ou para mostrar como outros podem construir produtivamente novas descobertas. A replicação independente por outros cientistas indica que os mesmos métodos produzirão consistentemente os mesmos resultados - outra ocasião para detectar erros. A necessidade de verificar o trabalho uns dos outros levou muitos a defender um compartilhamento mais aberto de dados e a publicação prévia de métodos e padrões de análise. Em suma, a ciência se beneficia do exame crítico organizado pelos pares. Dessa forma, a comunidade trabalha para desenvolver práticas que ajudem a expor vieses e remediar erros de curto prazo. Só então é possível construir conhecimento em que se pode confiar com certeza crescente.

Construir um consenso leva tempo. Em 1989, Pons e Fleischman chegaram às manchetes com afirmações notáveis sobre a "descoberta" da fusão a frio. A crença aumentou quando outros pesquisadores relataram repetir com sucesso suas descobertas. No entanto, em poucos meses, uma equipe de pesquisadores com experiência adequada demonstrou como falhas críticas nos métodos levaram a resultados enganosos. A revisão por pares (em seu sentido mais amplo) e a pesquisa expuseram os erros.

Embora o processo possa ser complexo, a ideia básica de verificação cruzada, ou de "*checks and balances*", é facilmente compreendida - e é isso que precisa ser ensinado na educação em ciências. A ciência não é apenas sobre lógica abstrata, argumento e experimento, um elemento essencial também é a interação social que permite o discurso e a crítica entre muitos experts com múltiplas perspectivas.

Assim, dado o papel crucial da revisão por pares (em seu sentido mais amplo) em estabelecer confiança na ciência, ela não pode ser adquirida *en passant* - um entendimento que só pode ser adquirido por aqueles que se tornam cientistas praticantes. Em vez disso,

Como a revisão por pares antes da publicação é apenas uma verificação parcial da validade dos resultados da pesquisa, os cientistas confiam na natureza comunitária e colaborativa da investigação científica para estabelecer a confiabilidade dos resultados; isso é revisão por pares no sentido mais amplo.

Assim, dado o papel crucial da revisão por pares (em seu sentido mais amplo) no estabelecimento de confiança na ciência, ela não pode ser adquirida *en passant*... ensinar sobre ela deve se tornar um elemento essencial de qualquer educação científica formal.

ensinar sobre ela deve se tornar um elemento essencial de qualquer educação em ciências formal. Um público informado precisa ter uma apreciação mais profunda de como os processos sociais dentro da ciência contribuem para o conhecimento que pode ser confiável além dos limites da comunidade de experts.

Lidando com a Incerteza

E se não houver consenso científico? O que então?

A ciência escolar e de graduação ocupa a paisagem da ciência estabelecida [89,90]. No entanto, a incerteza permeia o desenvolvimento do conhecimento científico em quase todas as suas etapas: desde a identificação de lacunas importantes em nosso conhecimento existente, até a imaginação de possíveis hipóteses explicativas; identificação de variáveis experimentais e controles relevantes; realização de análises estatísticas apropriadas; e, finalmente, como comunicar as descobertas à comunidade científica e ao público.

Muita da ciência relevante para políticas públicas é ciência em formação. A ciência em formação ocupa um cenário diferente de hipóteses experimentais, mas viáveis, onde as descobertas podem ser contestadas e onde todas as afirmações de saber são circunscritas com os modificadores possíveis ou prováveis. Os detratores da ciência capitalizam essa diferença ao destacarem o fracasso da ciência em viver de acordo com o ideal mítico perpetrado pelo ensino da ciência escolar. Por exemplo, em uma estratégia amplamente difundida, eles estabelecem expectativas impossíveis ao “exigir padrões irrealistas de certeza antes de agir de acordo com a ciência” [91]. Usando afirmações enganosas como: “Se os cientistas não conseguem nem prever o clima na próxima semana, como poderão prever o clima daqui a 100 anos?” Eles incitam dúvidas ao sugerir que apenas a ciência que opera com 100% de certeza pode ser confiável. Esse padrão impossível corrói a autoridade cultural da ciência - mesmo nos casos em que ela é validada por um consenso de expert [92].

Na medida em que qualquer conhecimento do mundo material só pode ser obtido com certo grau de confiança, em uma era de desinformação, uma compreensão básica da incerteza é um requisito fundamental intrínseco. Fazer previsões ou julgamentos com base em tal conhecimento restrito envolve necessariamente risco. Isso não significa que o conhecimento científico não seja confiável, mas que a incerteza é algo com que os cientistas aprenderam a conviver desenvolvendo ferramentas para limitar a incerteza inerente às descobertas empíricas.

Reconhecer a incerteza marca uma mudança importante em nossa abordagem do conhecimento científico, de uma exigência de certeza inequívoca para uma que seja precisa o suficiente [53]. Os cientistas reconhecem os vários graus de confiança em seu conhecimento, que varia de completamente desconhecido (sem evidências conclusivas) a um consenso de experts (baseado em evidências acumuladas, métodos múltiplos, verificação de várias perspectivas teóricas e assim por diante). Mesmo assim, algumas incertezas podem persistir. Dados limitados podem fornecer apenas uma certa precisão. Tecnologias ou métodos podem não estar disponíveis para coletar as observações que, idealmente, poderiam responder às nossas perguntas. Explicações alternativas ou inimagináveis podem estar à espreita inesperadamente ao virar da esquina. No entanto, tais limites não ameaçam a importância de um consenso. O acordo mútuo de experts relevantes é o melhor critério de confiança disponível para nós, mesmo que inclua qualificações, ressalvas ou incógnitas. Mais uma vez, vários fornecedores de desinformação se esforçam para descartar afirmações científicas, com base na crença ingênua de que, a menos que haja certeza, tais afirmações só podem ser postas em dúvida. Em suma, eles ingenuamente

As escolas ainda gastam muito pouco tempo ensinando aos estudantes a ciência da incerteza e como ela é abordada.

tentam, muitas vezes com sucesso, alavancar os limites da ciência em um ceticismo injustificado. Os estudantes precisam entender o suficiente sobre a natureza da ciência e da incerteza para descartar a imagem idealizada e irreal de uma ciência infalível e absolutamente certa.

Assim, as tentativas de usar a incerteza inerente à ciência e às medições empíricas para lançar dúvidas são simplesmente hipócritas. A questão, então, não é se a ciência está correta, mas “quão confiantes podemos estar em suas previsões?” Só então podemos avaliar o grau de risco.

As escolas ainda gastam muito pouco tempo ensinando aos estudantes a ciência da incerteza e como ela é abordada, ou seja: como abordar e entender os resultados científicos expressos em formas numéricas ou probabilísticas; a importância da utilização de estudos múltiplos; e como tomar decisões informadas com base em informações limitadas. Em um mundo ideal, o pensamento estatístico e a alfabetização de risco se tornariam um curso próprio. No mundo real, a educação em ciências deve estar à altura.

Um desafio para a educação científica formal é que os dados que os estudantes geralmente coletam são frequentemente escolhidos porque exemplificam relações lineares simples, como a Lei de Hooke, a Lei de Ohm ou tabulações cruzadas simples (por exemplo, genética mendeliana). Pode-se confiar nesses fenômenos para produzir conjuntos de dados previsíveis com poucas, se houver, anomalias. No entanto, na ciência real, os dados são confusos e a detecção de sinais de ruído requer considerável experiência metodológica.

E, no entanto, não há dificuldade em explorar a incerteza. A incerteza pode ser vista em um gráfico simples da frequência respiratória contra a frequência cardíaca coletada antes, durante e após o exercício [94], e nas tentativas de medir o comprimento e a largura de um pedaço de papel ou o ponto de ebulição da água, e em muitos outros conjuntos de dados simples. Por exemplo, como apontam Collins e Pinch, quando solicitados a determinar o ponto de ebulição da água – uma atividade de pouco valor, pois todos sabem a resposta (ou, se não sabem, podem procurá-la em um instante) – “quase ninguém chega a 100°C”. Assim, em vez de tentar convencer os estudantes de que eles teriam obtido o resultado “perfeito” se “não fosse por algumas dificuldades locais que não afetam o mundo adulto da ciência e tecnologia, com seu pessoal totalmente treinado e aparatos aperfeiçoados”, uma abordagem muito mais honesta seria perguntar aos estudantes como seria possível lidar com a incerteza que existe em seus dados [95,96].

Além disso, a Internet agora oferece acesso a uma variedade de conjuntos de dados que exibem incerteza e, principalmente, as ferramentas para explorar as relações e padrões que possam existir. Portanto, simplesmente não há desculpa para que a incerteza não se torne uma característica proeminente da educação em ciências. Que tipos de incerteza, então, são prontamente abordadas na educação em ciências que podem ajudar os adultos a viver mais confortavelmente com a incerteza produzida pela ciência?

Estatística e Teoria das Probabilidades

A ciência moderna conta com ferramentas que lhe permitem lidar matematicamente com a incerteza – aplicando regras de cálculo de probabilidade. As regras do acaso e a associada teoria da probabilidade e estatística que surgiram no século 18 ainda permanecem como referências de como lidar com risco e incerteza para: calcular o preço da segurança; escolher entre opções de decisão; ou testar hipóteses científicas (ver Hacking, [97]) e muito mais. Estatística e teoria da probabilidade

A incerteza pode ser vista em um gráfico simples da frequência respiratória contra a frequência cardíaca coletada antes, durante e após o exercício; em tentativas de medir o comprimento e a largura de um pedaço de papel ou o ponto de ebulição da água e muitos outros conjuntos de dados simples.

Um outsider competente precisa ser capaz de interpretar informações estatísticas básicas e identificar táticas enganosas comuns.

fornece à ciência as ferramentas básicas e a linguagem para lidar com a incerteza [98]. Além disso, tomar decisões informadas no mundo moderno frequentemente envolve informações estatísticas (por exemplo, sobre riscos de efeitos colaterais ou como interpretar resultados de testes positivos [99]). A atual pandemia de COVID-19 tornou esse conhecimento importante para todos nós [100]. No entanto, o público carece de habilidades para interpretar as informações apresentadas dessa maneira (por exemplo, [101, 102]).⁴ Um outsider competente precisa ser capaz de interpretar informações estatísticas básicas e identificar táticas enganosas comuns (por exemplo, expressar mudanças no risco conforme aumentos percentuais, ignorando a taxa básica). Para ajudar os estudantes a lidar com a incerteza de maneira informada, a avaliação e interpretação de estatísticas e riscos devem ser ensinados, não apenas em ciências, mas também em matemática [105,106].

Amostragem

Uma forma generalizada de erro em torno da incerteza é confundir os dados de uma pequena amostra com uma medida de toda a população. Raramente somos capazes de medir exaustivamente toda a população de objetos que estudamos. Em vez disso, contamos com amostragem e análise estatística. Assim, todos os resultados vêm com uma margem de erro e quanto maior a amostra, menor a margem de erro. É por isso que, por exemplo, grandes ensaios clínicos randomizados que minimizam possíveis vieses são considerados uma referência para uma política de saúde cientificamente confiável. Sem dúvida, é fácil citar casos individuais como “evidência”, especialmente se eles vierem de nossa própria experiência – de fato, uma história vívida pode parecer muito persuasiva. No entanto, assim como uma andorinha não faz verão, amostras isoladas não refletem a norma. Eles não são necessariamente representativos de todos os casos. No entanto, usar amostras pequenas ou não representativas, com viés de seleção, é uma tática frequente que está na base de afirmações científicas enganosas na mídia. O outsider competente deve ser especialmente cauteloso com reivindicações que usam dados anedóticos e tamanhos de amostra pequenos.

Explorar essas questões não é difícil. No cerne da compreensão da incerteza da amostragem está o conceito de uma distribuição normal – algo que é prontamente revelado ao traçar um histograma das alturas das crianças em qualquer classe. Prever como seria a distribuição de uma amostra na sala de aula adjacente pode ser feito com um grau razoável de confiança. Prever quais seriam as alturas máxima e mínima é muito menos certo. Nesse sentido, as amostras são representativas de uma população e não podem prever medições individuais. Além disso, as amostras podem ser tendenciosas se a amostra não for aleatória nem representativa de toda a população – por exemplo, não usando uma amostra separada de meninos e meninas quando medimos alturas ou usando apenas homens para testar a eficácia de uma droga.

Causalidade

A ciência procura identificar padrões no mundo. Uma vez que um padrão é bem estabelecido, a busca por uma explicação causal começa. Bons exemplos são a correlação entre a latitude e a incidência de câncer de pele [107]. Claramente, a explicação causal está na exposição à luz solar, mas por quê? Mesmo assim, só porque há

⁴ Uma descrição útil das armadilhas e práticas comuns envolvidas na visualização de informações estatísticas pode ser encontrada no trabalho de David Spiegelhalter e colegas [103,104].

uma correlação não significa que haja uma explicação causal; estabelecer uma relação requer uma compreensão do mecanismo que liga essas duas variáveis.

Para investigar associações causais, os estudantes geralmente são apresentados à estratégia de controle de variáveis, investigando o efeito de um fator sobre outro (por exemplo, como a temperatura afeta a quantidade de açúcar que se dissolverá em um volume fixo de água). Embora uma boa hipótese causal explicativa (neste caso, o modelo de partícula da matéria) seja uma poderosa ferramenta explicativa, a vida real é complexa e multivariada. Na ausência de uma explicação causal, a ciência desenvolveu técnicas sofisticadas para testar associações. Por exemplo, um ensaio clínico randomizado é usado para testar a eficácia de medicamentos e outras intervenções. Essa abordagem exclui todos os fatores além do fator de interesse - ou seja, se a droga em si produz uma diferença notável no resultado. Embora seja possível que qualquer efeito positivo tenha ocorrido por acaso, a comunidade científica tem um meio de avaliar sua probabilidade e, se for menor que 1 em 20, geralmente aceita isso como evidência de um efeito não aleatório. Portanto, embora a incerteza inerente seja reconhecida, esse critério permite um grau considerável de confiança nas descobertas.

Os estudantes precisam de uma introdução à noção do que é um ensaio clínico randomizado, por que é necessário, como a evidência de um efeito é medida e de que tipo de falhas ele pode sofrer. Dada a sua importância para o teste de medicamentos, a extensão dessas ideias para ensaios controlados randomizados e duplo-cegos também precisa ser explicada. Mesmo assim, uma associação pode ser correlacional em vez de causal. Muitos poucos podem detectar facilmente abusos desse conceito. São necessários exercícios que requeiram o mapeamento de conexões causais, por exemplo: qual a possível explicação causal para a correlação entre populações de cegonhas e número de bebês nascidos; qual é a possível conexão causal entre a incidência de doenças cardíacas e a latitude? O desenvolvimento de um bom modelo causal que explique qualquer fenômeno ajuda muito a construir nossa confiança e reduzir nossa incerteza sobre qualquer padrão.

Os Limites dos Modelos

A ciência lida com fenômenos complexos. Um objetivo da ciência é responder à questão causal de 'por que isso acontece?' construindo modelos explicativos [53,108]. E, ao desenvolver um modelo, "o objetivo (...) é chegar a uma representação que permita uma compreensão dos fenômenos, não uma que os replique." [53]

A ciência, portanto, faz uso de: modelos representacionais (por exemplo, o modelo de Bohr do átomo); modelos analógicos (por exemplo, explicar o comportamento de um circuito elétrico por analogia com o comportamento do fluxo de água); modelos matemáticos (por exemplo, o uso da função de onda na mecânica quântica). Embora os modelos nunca possam ser completos, bons modelos são bastante verdadeiros. Verdadeiro o suficiente para fornecer uma poderosa representação explicativa do mundo que pode ser usada para fazer inferências ou previsões confiáveis, mesmo que haja um grau de incerteza em seu resultado. Os modelos climáticos, modelos de propagação de uma doença ou de variação da demanda de eletricidade, enquadram-se muito bem nessa categoria. E quanto melhores os dados nos quais o modelo se baseia, mais precisas e confiáveis são suas previsões. Além disso, aqueles modelos nos quais a ciência baseia a tomada de decisão são comumente

Na ausência de uma explicação causal, a ciência desenvolveu técnicas sofisticadas para testar associações.

Embara os modelos nunca possam ser completos, bons modelos são bastante verdadeiros. Verdadeiro o suficiente para fornecer uma representação explicativa poderosa do mundo e que pode ser usado para fazer inferências ou previsões confiáveis.

bem estabelecidos e oferecem um alto grau de confiança.

Parte dessa avaliação de risco é baseada no conhecimento das limitações do modelo. Os modelos são seletivos no que escolhem representar. Além disso, muitos modelos têm pressupostos incorporados – superfícies sem atrito, massas pontuais ou gases idealizados. Resumindo, os modelos são apenas isso, modelos, e não uma representação detalhada de cada recurso. E assim, eles não podem nos oferecer certeza. Eles não representam todos os recursos em detalhes. Os educadores em ciências, portanto, precisam ser honestos com seu público e reconhecer abertamente que um modelo é apenas isso – um modelo, uma heurística útil que nos ajuda a entender o mundo material e, em alguns casos, pode permitir previsões – embora com limitações.

Dados deturpados

Cada vez mais, os indivíduos estão encontrando dados apresentados em um gráfico ou quadro. Todas essas visualizações de dados devem ser lidas. Os autores têm escolhas na construção de tais dados que afetam como eles são percebidos (por exemplo, usar um gráfico linear ou logarítmico). Os mascates de desinformação frequentemente exploram a incapacidade das pessoas de questionar e interrogar gráficos e quadros, usando essa fraqueza para enganar [69,109,110]. Eixos ou períodos são comumente escolhidos para exagerar ou minimizar um efeito. Assim, os estudantes precisam ser educados para ler tipos básicos de visualização de dados e identificar falhas comuns em sua apresentação e interpretação. Em suma, o gráfico dá suporte à história que pretende contar?

Valorizando a Humildade Intelectual e a Verdade

Um efeito colateral infeliz do acesso quase instantâneo ao conhecimento na Internet é que nos ilude pensando que podemos saber mais do que sabemos [13]. Ao pressionar algumas teclas, recebemos respostas imediatas à nossa curiosidade. No entanto, o conhecimento é mais do que uma compilação de fatos. No caso da ciência, não basta saber o que é um íon, um átomo ou uma célula. Em vez disso, é importante saber como essa entidade ou conceito está relacionado a outros, qual é o seu significado, como surgiu e por que esse conhecimento pode ser confiável. Saber o que é a fotossíntese, por exemplo, tem pouco valor por si só, mas ser capaz de explicar sua importância no ciclo do carbono e nas mudanças climáticas, porém, tem muito valor. Em suma, como a fotossíntese se encaixa no esquema das coisas que sustentam a vida é um entendimento que se adquire por meio de um estudo extenso. O conhecimento não é uma miscelânea de fatos a serem regurgitados com o apertar de um botão ou em resposta a uma pergunta de exame; requer um conjunto de estruturas conceituais coerentes que integram um conjunto de inter-relações complexas e explicam o significado de cada elemento. Esse conhecimento leva tempo para ser adquirido. Como afirmou Claude Bernard, “A ciência é um salão cheio de espanto e admiração, o problema é a longa cozinha escura pela qual você tem que passar para chegar lá.” [111]

Confrontado com uma vasta gama de informações, às quais mais volumes são adicionados a cada dia, a resposta adequada deve ser de humildade intelectual nascida de uma compreensão de quão pouco cada um de nós realmente sabe, muito menos entende.

Confrontado com uma vasta gama de informações, às quais mais volumes são adicionados a cada dia, a resposta adequada deve ser de humildade intelectual nascida de uma compreensão de quão pouco cada um de nós realmente sabe, muito menos entende.

A humildade intelectual também é exigida diante de outros que sabem mais. Nesse contexto, precisamos reconhecer nossas próprias limitações, respeitar a experiência dos outros e estar prontos para ceder a evidências convincentes ou a um argumento melhor. Essa compreensão de nossas limitações só pode advir da exposição a erros - tanto os nossos quanto os dos outros.

Produzir conhecimento confiável é um enorme esforço intelectual que requer investigação sistemática metódica, que é a ocupação profissional em tempo integral de cientistas dedicados. Os resultados de seu trabalho são um histórico notável de conhecimento confiável do mundo material - conhecimento que é a base de nosso suprimento de energia, sistemas de transporte, assistência médica, agricultura moderna e muito, muito mais [31,53]. Além disso, tal conhecimento permite que a humanidade aja com sabedoria. Por exemplo, o volume de conhecimento sobre a mudança climática está forçando as sociedades a pensar em como enfrentar os desafios iminentes colocados pelas ações humanas. Em contraste, o conhecimento falho ou simplesmente errado é um guia de ação ruim - algo que aqueles que negaram o conselho sobre as vacinas contra COVID e ficaram gravemente doentes ou até morreram podem atestar.

Além disso, as ciências não produzem opinião. Eles não são uma ideologia. Raramente envolvem compromissos políticos inerentes, embora, sem dúvida, cientistas individuais o façam. Suas prioridades são um reflexo dos valores sociais, econômicos e culturais. Más interpretações podem acontecer, e aconteceram onde a ciência foi usada para fins políticos. Por exemplo, os conceitos genéticos já foram mal utilizados para apoiar ideologias racistas [112,113].

Parte do projeto de construção da humildade intelectual requer expor as maneiras comuns pelas quais o raciocínio humano dá errado. Alguns são genéricos. Por exemplo, todos os humanos têm uma tendência natural de viver em câmaras de eco — de se socializar com aqueles que pensam como eles. Além disso, como Kahneman documentou, a resposta natural é pensar rápido e confiar na intuição, quando o que geralmente é necessário é uma consideração deliberativa mais lenta da questão, da evidência e da confiabilidade da fonte ou das fontes [114].

Explorar uma lista exaustiva de tipos de erros está além do que a educação em ciências pode alcançar. No entanto, alguns são específicos da ciência e da matemática [69,115,116] e devem ser explorados, como, por exemplo, confundir correlação com causalidade, usar outliers como base de um argumento, fazer generalizações abrangentes a partir de amostras pequenas (por exemplo, minha avó tem 90 anos e ainda fuma dez cigarros por dia) ou 'trapacear' com escalas inadequadas em gráficos. Assim, um objetivo curricular apropriado seria apresentar uma amostra ampla de tais erros como ilustrações que exemplificam um problema geral e como eles podem ser detectados.

Assim como a humildade nasce do reconhecimento e da experiência de nossas próprias falhas, ela pode ser fomentada por um sentimento de reverência. A admiração é uma experiência a ser compartilhada e fomentada com todos os estudantes [117,118] e sentida: ao ver as cores da luz branca produzida por um prisma em uma sala escura; nos rastros que emergem de uma fonte radioativa em uma câmara de nuvens; ou na produção de uma fibra de vidro e dobrando-a 360°. Desenvolver um sentimento de admiração requer que "o anestésico da familiaridade, o senso de normalidade que entorpece os sentidos e esconde as maravilhas da existência" seja sacudido [34].

A ciência tem uma história para contar que é simplesmente incrível. Por exemplo: todas as substâncias que nos cercam são feitas de apenas 80 elementos; você se parece com o seu

Além disso, as ciências não produzem opinião. Elas não são uma ideologia.

A ciência tem uma história para contar que é simplesmente incrível. Por exemplo: todas as substâncias que nos cercam são feitas de apenas 80 elementos; você se parece com seus pais porque cada célula do seu corpo carrega uma receita quimicamente codificada sobre como reproduzi-lo.

país, porque cada célula do seu corpo carrega uma receita quimicamente codificada sobre como reproduzi-lo; o planeta que habitamos é apenas um dos potencialmente milhões em um universo em constante expansão que começou há 13,8 bilhões de anos. Desenvolver um sentimento de admiração exige que os professores de ciências reconheçam que são contadores de uma história da enorme conquista intelectual e cultural do desenvolvimento do conhecimento científico. Seu papel não é apenas transmitir essa herança cultural, mas também transmitir seu valor e a conquista que ela representa.

A ênfase atual na compreensão dos blocos de construção da ciência (por exemplo, a célula, a lei do movimento de Newton, mudança química versus física) raramente proporciona aos estudantes uma sensação de admiração pelo edifício intelectual que a ciência construiu, como nosso conhecimento do corpo humano. É como se grande parte da educação em ciências pedisse a seus estudantes que olhassem pelo lado errado do telescópio e depois se perguntasse por que eles parecem tão singularmente desinteressados.

Para usar uma metáfora arquitetônica, é impossível ver todo o edifício se nos concentrarmos muito nos tijolos individuais. Sem uma mudança de foco, é impossível ver se você está olhando para o Partenon em Atenas ou para uma pilha de pedras, ou para apreciar o que faz deste edifício um dos grandes monumentos do mundo. Os estudantes precisam sair de sua educação científica obrigatória aptos a explicar por que as ideias de Dalton sobre os átomos, as ideias de Darwin sobre a seleção natural ou a compreensão de Rachel Carson sobre o efeito do DDT no meio ambiente estão entre os conhecimentos mais valiosos e significativos que possuímos. Em suma, se não comunicarmos o valor do que eles aprendem, por que os próprios estudantes deveriam valorizá-lo? E dada a falta de ênfase nas conquistas da ciência, é surpreendente que, para muitos estudantes, o interesse pela ciência diminua à medida que ela é estudada; que a ciência não é percebida como um assunto criativo; e que, se necessário, o conhecimento que ele oferece pode ser facilmente recuperado com uma rápida pesquisa no Google [119, 120]. No entanto, oferecer aos estudantes uma visão do salão da maravilha e das "grandes ideias" que as ciências oferecem é fundamental para gerar algum senso de humildade [121]. Fazer menos é prestar um desserviço às ciências e ao trabalho dos cientistas.

Parte do desafio de dar mais ênfase à construção de um senso de humildade e admiração é o foco singular em reproduzir a resposta certa. Como perguntam Lapsley e Challoner, "como podemos fazer com que estudantes que passaram toda a sua carreira acadêmica perseguindo valores de transcrição, isto é, notas, prêmios, pontos de classe e classificação de classe – desejem conhecimento e verdade como uma busca fundamental por si mesma e por um profundo desejo pessoal?" [122]. Claramente, tal foco no teste e na recordação de diversos fatos e conceitos não pode comunicar os valores mais profundos de um respeito pela verdade, ou promover uma apreciação mais profunda ou senso de valor da ciência que aprenderam.

Imagine avaliações que possam promover não a capacidade de reproduzir o conhecimento científico canônico, mas, em vez disso, a capacidade de identificar o erro, o raciocínio científico falho, a escala inadequada ou a fragilidade dos dados nos quais uma afirmação se baseia. Ou avaliações que demonstrem a capacidade de avaliar a credibilidade de alegações científicas duvidosas. Tais exercícios ajudariam a desenvolver uma "postura de busca da verdade"; aquele que reconhece que a credibilidade é importante, que apenas algumas fontes podem ser confiáveis e reconhece que elas podem não saber o suficiente para julgar.

Imagine avaliações que possam promover não a capacidade de reproduzir o conhecimento científico canônico, mas, em vez disso, a capacidade de identificar o erro, o raciocínio científico falho, a escala inadequada ou a fragilidade dos dados nos quais uma afirmação se baseia.


Os professores são atores racionais e, enquanto os resultados dos testes forem usados como medida de seu desempenho, eles sempre estarão sob pressão para ensinar para o teste. Portanto, novas formas de avaliação devem refletir e valorizar novos objetivos educacionais e fornecer um contexto para orientar os objetivos, motivações e recompensas da aprendizagem em sala de aula. Sem tal ênfase, a crescente disseminação de desinformação corre o risco de criar uma cidadania que falha em reconhecer conquistas e conhecimentos intelectuais. E, quando os cidadãos comuns acreditam que ninguém sabe mais do que ninguém, as próprias instituições democráticas correm o risco de cair no populismo ou na tecnocracia ou, no pior dos casos, em uma combinação de ambos [11].

IMPLICAÇÕES PARA A PRÁTICA

Oferecemos quatro exemplos do que pode significar atender a essas novas metas de aprendizagem na sala de aula.

Exemplo 1

No contexto do ensino sobre mudanças climáticas, os estudantes podem ser solicitados a avaliar os argumentos encontrados no site CO2science.org. Superficialmente, é um “.org” que pode predispor o indivíduo a pensar que é imparcial.



The image shows a screenshot of the CO2 Science website. The header features the logo 'CO2 SCIENCE' with a green leaf icon. Below the logo is a navigation menu with links: HOME, ABOUT US, CONTRIBUTE, ISSUES, EDUCATION CENTER, VIDEOS, SUBJECT INDEX, DATA, and SEARCH. The main content area displays an article titled 'Carbon Dioxide and Global Warming: Where We Stand on the Issue' by C. D. Idso and K. E. Idso, from the Center for the Study of Carbon Dioxide and Global Change. The article text is as follows:

There is little doubt the air's CO₂ concentration has risen significantly since the inception of the Industrial Revolution; and there are few who do not attribute the CO₂ increase to the increase in humanity's use of fossil fuels. There is also little doubt the earth has warmed slightly over the same period; but there is no compelling reason to believe that the rise in temperature was caused by the rise in CO₂. Furthermore, it is highly unlikely that future increases in the air's CO₂ content will produce any global warming; for there are numerous problems with the popular hypothesis that links the two phenomena.

A weak short-term correlation between CO₂ and temperature proves nothing about causation. Proponents of the notion that increases in the air's CO₂ content lead to global warming point to the past century's weak correlation between atmospheric CO₂ concentration and global air temperature as proof of their contention. However, they typically gloss over the fact that *correlation* does not imply *causation*, and that a hundred years is not enough time to establish the validity of such a relationship when it comes to earth's temperature history.

The observation that two things have risen together for a period of time says nothing about one trend being the cause of the other. To establish a causal relationship it must be demonstrated that the presumed cause *precedes* the presumed effect. Furthermore, this relationship should be demonstrable over several cycles of increases and decreases in both parameters. And even when these criteria *are* met, as in the case of solar/climate relationships, many people are unwilling to acknowledge that variations in the presumed

Figura 2 Artigo do Center for the Study of Carbon Dioxide and Global Change (/about/position/globalwarming.php)

Este site afirma que há uma fraca correlação de curto prazo entre ciência e temperatura. Não nega que as concentrações de CO₂ estão aumentando, mas argumenta que esta não é a principal causa das mudanças climáticas e usa uma série de

argumentos para criticar a conexão causal. Os argumentos parecem científicos e são apresentados com evidências. Por exemplo, eles têm uma página inteira de dados chamada Data Center. Superficialmente, tais argumentos podem parecer confiáveis. Por exemplo, eles argumentam:

que o aquecimento previsto como resultado de uma duplicação do conteúdo de CO₂ presente no ar pode ser totalmente combatido por: (1) um aumento de apenas 1% na refletividade do planeta, ou (2) um aumento de 10% na quantidade de nuvens de nível baixo no mundo, ou (3) uma redução de 15 a 20% no raio médio das gotas das nuvens da camada limite da Terra, ou (4) um aumento de 20 a 25% no conteúdo de água líquida da nuvem. Além disso, foi demonstrado que a produção induzida pelo aquecimento de nuvens de alto nível sobre os oceanos equatoriais anula quase totalmente o poderoso efeito estufa do vapor d'água dessa região, que fornece grande parte do aumento de temperatura no cenário de aquecimento global induzido por CO₂.

[\(/about/position/globalwarming.php\)](/about/position/globalwarming.php)

Superficialmente, pode parecer que esses argumentos são substanciais. Eles estão disfarçados na linguagem da ciência; parecem referir-se a pesquisas publicadas e o trabalho foi realizado por uma organização independente. Nada poderia estar mais longe da verdade. Descobrir isso requer que os estudantes se envolvam na leitura lateral, começando por perguntar: esta fonte é confiável? Ao pesquisar CO₂science.org no Google, este site aparece como o primeiro resultado da pesquisa, mas abaixo está a informação de que é financiado pela ExxonMobil. Abaixo disso está a informação de que CO₂science.org é financiado pelo Center for the Study of Carbon Dioxide and Global Change, que é identificado pela Wikipedia e Sourcewatch.org como um grupo de fachada para a indústria de combustíveis fósseis.

Nesse ponto, o aluno deve ser encorajado a não tentar avaliar a ciência apresentada no site – ele não tem conhecimento para fazer isso. Em vez disso, eles devem fazer uma leitura lateral e perguntar “qual é o consenso científico sobre a mudança climática?” As duas principais fontes vêm da NASA e da Wikipedia: a primeira é uma instituição científica bem estabelecida de autoridade considerável, que os estudantes podem não saber, mas o qual a educação em ciências precisa ensiná-los explicitamente; o segundo tem ampla credibilidade como fonte independente. Indo além, uma terceira fonte é opscience.org, que oferece um artigo revisado por pares publicado na Environmental Research Letters com o título “Greater than 99% consensus in the Peer Reviewed Scientific Literature”. Neste ponto não seria razoável esperar que os professores saibam se Environmental Research Letters é um jornal de prestígio na comunidade. No entanto, o jornal pode ser encontrado junto com muitos outros [92]. Portanto, a máxima de Bertrand Russell, “Se os experts estão de acordo, não se pode acreditar no contrário”, deve ser aplicada [15].

CO2science, os estudantes devem ser encorajados a não começar sua avaliação do site tentando decifrar as afirmações que ele apresenta. Em vez disso, os estudantes devem ser ensinados a se engajar na leitura lateral para buscar informações sobre o conhecimento científico das pessoas e organizações por trás do site. Uma pesquisa por 'Children's Health Defense' traz a página do grupo como o primeiro resultado. Aqui, os estudantes devem ser ensinados a usar a restrição de clique, não clicando no primeiro resultado que aparece. Em vez disso, eles devem reservar um tempo para ler os fragmentos de pesquisa, que contêm informações sobre o conteúdo de cada resultado da pesquisa. Por exemplo, a entrada da Wikipedia afirma que a Children's Health Defense é "um grupo ativista americano conhecido principalmente por atividades anti-vacina e foi identificado como uma das principais fontes de desinformação sobre vacinas". (en.wikipedia.org/wiki/Children's_Health_Defense) O resultado da National Public Radio (NPR) afirma que a organização é "um grupo antivacina liderado por Robert F. Kennedy Jr." (www.npr.org/search)

The image shows a screenshot of the website 'the Defender' (Children's Health Defense News & Views). The main article is titled 'COVID Vaccines Don't Prevent Transmission, Severe Illness or Deaths, Data Show' by Meryl Nass, M.D., dated 04/04/22. The article includes a sub-headline: 'All we have to do is look at high-quality epidemiological data to get to the truth — COVID-19 vaccines aren't preventing COVID or its transmission, and they aren't preventing severe illness or death.' Below the text is an image of a COVID-19 vaccine vial and syringe. The website has a navigation menu with categories like CHD, COVID, BIG PHARMA, etc. A banner at the top promotes a book: '1 Million Copies Sold — 'The Real Anthony Fauci' — The book that launched a movement. BUY TODAY!'. There are also sections for 'Donate Now' and 'Latest News' on the right side.

Figura 4 Artigo em 4 de abril de 2022 (childrenshealthdefense.org/defender/covid-vaccines-dont-prevent-transmission-severe-illness-deaths-data/)

Outra pesquisa, desta vez sobre Robert F. Kennedy Jr., revela que ele não possui nenhum conhecimento relacionado a vacinas. Ele é formado em direito e é um conhecido advogado contra as vacinas. A falta de experiência relevante de Kennedy indica que ele não é uma fonte confiável sobre a ciência das vacinas, o que lança dúvidas sobre as reivindicações de sua organização. Essa falta de credibilidade, juntamente com amplo consenso científico sobre a segurança das vacinas COVID, pode ser usada como justificativa para desconsiderar as alegações feitas sobre vacinas pelo Children's Health Defense.

Exemplo 3

No contexto de uma unidade de nutrição, os estudantes podem ser solicitados a avaliar dois sites que fornecem informações sobre saúde. A primeira, a Figura 5, é uma página da Partnership for A Healthier America (PHA) (www.ahealthieramerica.org/); a segunda, Figura 6, é a página do International Life Sciences Institute (ISLI) (ilsli.org)

Uma discussão inicial, baseada em olhar para cada site, pode mostrar que os estudantes consideram ambos os sites confiáveis. Ambos têm um nome de domínio “.org” e ambos os sites parecem profissionais e confiáveis. Os estudantes podem então ser solicitados a usar a árvore de decisão mostrada na Figura 1 para determinar em qual site eles escolheriam confiar para obter informações relacionadas à saúde.

Começando com a primeira pergunta na árvore de decisão, “A fonte desta informação é confiável?” O primeiro desafio dos estudantes é determinar se essas fontes são livres de preconceitos e se há algum conflito de interesses. Para fazer isso, eles precisarão abrir uma nova guia e começar com a leitura lateral.

Se eles pesquisarem por “Partnership for A Healthier America”, descobrirão que um dos primeiros links a aparecer nos resultados da pesquisa é da Wikipedia. Depois de usar a restrição de cliques para escanear os trechos de informações abaixo de cada resultado e olhar para os três pontos ao lado de cada um, eles podem decidir começar com a página da Wikipedia para obter uma noção ampla de quais outras informações estão disponíveis sobre a organização. Lá, os estudantes lerão que a PHA é uma organização sem fins lucrativos focada em saúde e nutrição. Seu presidente e CEO é Nancy Roman, que tem anos de experiência trabalhando para programas alimentares mundiais, bancos de alimentos e organizações sem fins lucrativos de nutrição.

Por outro lado, quando os estudantes aplicam a mesma estratégia à página da web do ISLI, é provável que comecem com a entrada da Wikipédia. Isso conta uma história muito diferente. Embora a ISLI também seja uma organização sem fins lucrativos, a entrada da Wikipedia mostra que ela foi financiada por um executivo da Coca-Cola e tem vários laços com empresas de alimentos e produtos químicos, como McDonald's e Pepsi. Tais laços representam um claro conflito de interesses e sugerem fortemente que o ISLI não é uma fonte confiável de informação.

Um aluno que não estivesse convencido poderia, no entanto, passar para a próxima pergunta na árvore de decisão, perguntando “A fonte tem experiência para atestar a afirmação?” Mais uma vez, os estudantes encontrarão mais evidências para a rejeição. A página da Wikipedia, por exemplo, dá exemplos de membros da organização publicando livros que foram questionados como tendo “mérito científico mínimo” e afirmando que autores, como Michael Gough, não são experts nos tópicos sobre os quais escrevem. Além disso, a entrada mostra que outras fontes, com conhecimento científico mais confiável, têm preocupações sobre a organização. O British Medical Journal, (uma revista científica de alto status) afirma que a organização aceitou financiamento da indústria do tabaco.

Os estudantes podem trabalhar em pares com a árvore de decisão, fazendo e respondendo perguntas. Uma discussão de classe que se segue pode comparar suas descobertas e julgamentos. Usando exemplos como este, as rotinas padronizadas dos verificadores de fatos podem ser internalizadas para desenvolver as rotinas automáticas necessárias para verificar a credibilidade das alegações que abundam na Internet.

Food Equity is Health Equity
Your donation to PHA improves access to good food in every community. [DONATE NOW](#)

PARTNERSHIP FOR A HEALTHIER AMERICA

[ABOUT US](#) [WORK & IMPACT](#) [BLOG & RESOURCES](#) [DONATE](#) Search

Demand Food Equity

Health Equity cannot happen without Food Equity. Add your voice to a new, national movement working to change America's food system to ensure that every American has affordable access to healthy food, including fresh vegetables and fruit.

[SIGN THE PLEDGE](#)

STAY CONNECTED TO OUR WORK.
Join our newsletter.

[SIGN UP](#)

Figura 5 Ponto 3 no controle deslizante da primeira página de ahealthieramerica.org

Menu **ILSI Global** ILSI Entities Search One ILSI

Food Safety

Food Safety Snapshot

ILSI's food safety programs contribute to better prevention, detection, and response to intentional and unintentional contamination of our food and water systems.

[Next Generation Sequencing](#)

Figura 6 Página de Food Safety na guia Ciência e Pesquisa (ilsil.org/science-research/food-safety/)

Exemplo 4

O quarto exemplo é adaptado de um conjunto de atividades desenvolvidas por Allchin [123]. Para ensinar os estudantes sobre o papel da expertise no estabelecimento de credibilidade na ciência, os professores podem fornecer aos estudantes descrições de diferentes indivíduos e incumbi-los de determinar em quem confiar, usando o critério de expertise científica relevante. Por exemplo, em uma unidade sobre mudança climática, os estudantes podem receber as três descrições a seguir e, em pequenos grupos, ser encarregados de determinar qual dos seguintes indivíduos melhor representa a perspectiva da comunidade científica:

1. Fred Singer, físico, chefe do Non-Intergovernmental Panel on Climate Change, membro do Marshall Institute; fundador do National Weather Satellite Service; e ex-vice-administrador adjunto da Agência de Proteção Ambiental;
2. John Coleman, co-fundador do Weather Channel, ex-apresentador do tempo na TV, com seis décadas de experiência em radiodifusão; ou
3. Naomi Oreskes, historiadora da ciência com formação em geologia e ex-consultora de mineração, que fez uma análise do consenso sobre mudanças climáticas publicado na Science.

Os professores podem, então, envolver os estudantes em uma discussão sobre qual indivíduo eles escolheram como expert científico e suas justificativas para iniciar uma conversa sobre as características do conhecimento científico relevante.

Nesse caso, Naomi Oreskes – ironicamente a historiadora – seria a pessoa com maior probabilidade de representar e comunicar a perspectiva da comunidade científica sobre as mudanças climáticas. Ela tem uma formação científica relevante para a ciência da mudança climática (geologia) e publicou um artigo sobre consenso em uma revista científica bem estabelecida e confiável. Embora os outros dois indivíduos também tenham trabalhado em cargos de liderança, nenhum deles possui experiência relevante nem posição como expert em mudanças climáticas na comunidade científica. Embora Fred Singer seja físico, ele é membro do Non-Intergovernmental Panel on Climate Change, que tem sido criticado pela comunidade científica por produzir relatórios com falhas metodológicas e usar autores de áreas irrelevantes. John Coleman pode ter experiência em jornalismo, mas não tem formação científica e não realizou pesquisas sobre mudanças climáticas. Assim, ele não deve ser considerado como representante das opiniões da comunidade científica.

Durante atividades como esta, os professores podem envolver os estudantes em conversas sobre características importantes do conhecimento científico, como:

1. o papel da expertise relevante, e que não é qualquer cargo de doutorado ou pesquisa em ciências que faz de alguém um expert em todas as ciências;
2. o papel do consenso que deve ser muito mais pesado do que a interpretação de um único cientista; e
3. o papel do conflito de interesses e vieses que podem levar até mesmo cientistas com expertise a relatórios desonestos.

Os professores podem adaptar as descrições dos indivíduos que os estudantes avaliam

com base nas características de expertise que desejam destacar, como valorizar o conhecimento do expert em detrimento do prestígio dos títulos, incluindo alguns não experts que ocupam cargos de liderança impressionantes.

Esses exemplos são oferecidos como ilustrações do que pode ser feito. Dada a cornucópia de desinformação na internet, temos poucas dúvidas de que mais e melhor poderiam ser prontamente desenvolvidos.

IMPLICAÇÕES PARA A POLÍTICA

Os desafios para a ciência discutidos neste documento são graves e sua correção é urgente. Embora não possam ser resolvidos apenas pelos educadores, a educação e os educadores em ciências em particular têm uma contribuição a dar.

Os desafios para a ciência discutidos neste documento são graves e sua correção é urgente. Embora não possam ser resolvidos apenas pelos educadores, a educação e os educadores em ciências em particular têm uma contribuição a dar. Reconhecemos que será um desafio pedir à educação em ciências que reduza sua ênfase singular no conhecimento e desenvolva a competência para avaliar melhor as afirmações científicas na mídia. A educação em ciências, sem dúvida, tem a obrigação fundamental de apresentar aos seus estudantes as principais ideias da ciência – ideias que estão fora de questão. Dado o tempo limitado disponível, muito já se pede ao currículo de ciências. O surgimento da era da desinformação, no entanto, levou a uma mudança fundamental no contexto, e nossos objetivos e prioridades devem ser reavaliados. Não faça nada, e falharemos não apenas com nossos estudantes, mas com a própria ciência.

Os quatro exemplos anteriores ilustram o que os professores podem fazer. Além disso, existem evidências de eficácia [73]. No nível de graduação, um trabalho substantivo já foi realizado pelo ganhador do prêmio Nobel, Saul Perlmutter, juntamente com seus colegas de Berkeley, com o curso "Sense & Sensibility & Science" para graduandos de todas as disciplinas que, encorajadoramente, está sendo adotado nas universidades nos EUA.⁶ Da mesma forma, um curso de Carl Bergstrom e Jevin West chamado "Calling Bullshit: Data Reasoning in a Digital World" resultou em um livro homônimo que está sendo ensinado tanto nos EUA quanto internacionalmente.⁷ Poucos estudantes de graduação, no entanto, são susceptíveis de fazer tais cursos. Muitos mais fazem um curso universitário introdutório em biologia, ciências ambientais, ciências da terra, química ou física. Esses cursos geralmente serão o último curso de ciências que eles vivenciam. Por esse motivo, todos esses cursos precisam abordar as questões que levantamos aqui.

No entanto, não pode ser deixado para o ensino de graduação remediar omissões na ciência do ensino fundamental. Os desafios que colocamos são reais e sempre crescentes. Todos os estudantes precisam desenvolver o conhecimento e a compreensão necessários para lidar com a desinformação que é uma ameaça fundamental para nossas sociedades. A vacinação dos estudantes contra a doença da desinformação deve começar no ensino fundamental e o tratamento requer uma intervenção sustentada. Esta é a abordagem que os Suomi (finlandeses) adotaram [60]. Assim, fazemos as seguintes recomendações.

Todos os estudantes precisam desenvolver o conhecimento e a compreensão necessários para lidar com a desinformação, que é uma ameaça fundamental para nossas sociedades.

⁶ Veja sensesensibilityscience.berkeley.edu

⁷ Veja www.callingbullshit.org

Recomendação 1: Revisão dos Padrões e Currículos da Educação em Ciências

Dado que os saberes e competências aqui discutidos são fundamentais para uma participação efetiva numa sociedade democrática, eles devem ser ensinados e, se devem ser ensinados, outros elementos devem ser extirpados. Dada a extensão do conhecimento científico e o tempo finito disponível para a educação formal, todos os currículos exigem escolhas. Nossa opinião é que há pouca justificativa para pedir a todos os estudantes que aprendam elementos muito específicos do conhecimento que eles raramente, ou nunca, usarão - as formas dos orbitais do elétron, a estrutura química do benzeno ou os estágios da meiose e da mitose - quando o conhecimento que enfatizamos aqui é um requisito essencial para a competência necessária para lidar com a enxurrada de informações errôneas e desinformadas. As evidências sugerem que uma abordagem pequena, mas sustentada, no ensino fundamental faria a diferença e deixaria um tempo considerável para abordar as grandes ideias da ciência, práticas científicas e muito mais. Se os argumentos que apresentamos aqui são reveladores, então parte do conteúdo "sagrado" que povoa a maioria dos currículos de ciências terá de ser extirpado. Nossa visão é que pouco se perderá e muito se ganhará, tanto para a sociedade quanto para seus estudantes.

Claramente, a próxima iteração de qualquer currículo deve fazer essas escolhas. Mas esperar por isso seria esperar demais. Tanto a comunidade científica quanto a comunidade de educadores em ciências devem reconhecer a urgência de abordar essas questões nas salas de aula que frequentam diariamente. Reconhecemos que para muitos cientistas, professores em ciências e pais, essas características da ciência parecerão estranhas - simplesmente não fazem parte da gramática de sua própria educação em ciências. No entanto, se o público se perder em um mar de desinformação, onde descobertas científicas confiáveis são questionadas por razões inadequadas, tanto a ciência quanto o apoio público à ciência diminuirão. Não podemos ser mais francos do que dizer que o inimigo está às portas de Roma. A confiança nas democracias ocidentais está no nível mais baixo de todos os tempos [124]. Envolver-se com estudantes e não cientistas para defender a expertise científica, porque o consenso científico deve ser atendido e explicar as conquistas intelectuais da ciência, deve permear o hábito diário dos cientistas. Em suma, cientistas e educadores em ciências devem defender explicitamente o valor - e os valores da - ciência.

No caso das escolas, isso significa que os professores de ciências devem ir muito além das atividades de laboratório que "provam" novamente que a genética mendeliana, a mecânica newtoniana ou os padrões da tabela periódica são garantidos. O que o aluno precisa saber é o que justifica uma crença nas mudanças climáticas, na eficácia das vacinas ou no remédio que a mãe toma para reduzir a pressão arterial. Tal conhecimento é produto de uma comunidade científica que impõe padrões de honestidade e confiabilidade incomparáveis [32]. Para isso ser alcançado, requer muito mais do que a descrição idealizada e enganosa do método científico que povoa o primeiro capítulo de tantos livros didáticos. E, embora o tratamento das práticas científicas no NGSS forneça alguma percepção sobre o que os cientistas fazem, os estudantes podem ainda não saber por que o conhecimento científico pode ser confiável. Se esse tipo de conhecimento importa, deve ser ensinado e, se deve ser ensinado, deve ser uma característica explícita dos currículos.

Recomendação 2: Desenvolvimento de Materiais Curriculares

Claramente, tanto os materiais curriculares quanto o treinamento são necessários. Os materiais curriculares são necessários porque existem poucos. O Stanford History Group, com seu trabalho sobre o Civic Online Reasoning, teve um começo valioso - alguns dos quais abordam questões científicas.⁸ Na Finlândia, a organização de verificação de fatos, Faktabaari, produziu um conjunto de materiais para apoiar os professores no desenvolvimento de competências para alfabetização midiática e informacional, conforme definido pelo currículo nacional finlandês.⁹ A UNESCO produziu um documento curricular para alfabetização midiática e informacional [125]. Mas estes são predominantemente de domínio geral. Muito mais é necessário na ciência do ensino fundamental e médio para desenvolver alfabetização midiática digital e informacional em ciência e uma compreensão da ciência como uma coleção de práticas sociais – especificamente o papel do consenso, revisão por pares e as características da expertise científica. No mínimo, os desenvolvedores de currículo precisam adicionar detalhes e clareza à oitava prática do NGSS de “Comunicação, obtenção e avaliação de informações”. Embora inovador há uma década, seu foco deve se adaptar à nova época de desinformação que enfrentamos – enfatizando as necessidades dos consumidores de ciência e não apenas dos futuros cientistas profissionais.

Assim como o Sputnik desferiu um golpe simbólico na psique americana, a era da desinformação ameaça o próprio bem-estar da comunidade científica e seu trabalho. O Sputnik foi o catalisador de uma série de iniciativas curriculares bem financiadas, como o Physical Science Study Committee (PSSC), o Biological Sciences Curriculum Study (BSCS) e o Chemistry in Context (ChemCon) [126]. A ameaça de desinformação merece a mesma resposta.

Recomendação 3: Formação de Professores de Ciências

A formação de professores é necessária porque a própria educação científica dos professores de ciências raramente abordou esses tópicos. Poucos terão aprendido sobre o papel da argumentação e do debate na ciência, avaliação de pares, consenso científico, avaliação de expertise ou alfabetização midiática digital e informacional. Historicamente, o conteúdo sempre foi priorizado. Parafraseando Lakatos, os cientistas pensaram que os estudantes tinham tanta necessidade de saber sobre essas características quanto os peixes têm sobre hidrodinâmica. Assim, raramente eram ensinados. Em vez disso, a gramática do ensino diário de ciências e o ‘espírito da época’ que sustenta sua prática continuam a enfatizar a compreensão de seu conteúdo fundamental, juntamente com as práticas científicas internas à ciência (por exemplo, planejamento de investigações, desenvolvimento de modelos etc.). Ausente está qualquer explicação de como as estruturas sociais e institucionais da ciência asseguram seu objetivo de produzir conhecimento confiável. Novos conteúdos, novos currículos e novas avaliações, como as aqui defendidas, exigem cursos de formação profissional – sejam eles presenciais ou online. Ensinar essas capacidades requer uma compreensão de por que elas são importantes e um conhecimento de como elas podem ser ensinadas. Não se pode pedir aos professores que ensinem

⁸ Veja cor.stanford.edu/curriculum/collections/intro-lessons

⁹ Veja www.faktabaari.fi/edu

sobre a natureza social da ciência se eles não estiverem devidamente equipados e não entenderem completamente o que estão sendo solicitados a ensinar. O conhecimento da matéria é importante, e os professores que entendem completamente o que estão ensinando, são melhores professores [127,128]. A educação e a formação profissional são, por isso, essenciais. Tais argumentos são igualmente válidos para aqueles que ensinam estudantes de graduação, educadores informais e divulgadores científicos.

Recomendação 4: Melhorar a avaliação

Nenhuma mudança ocorrerá, no entanto, se essas competências não forem avaliadas. No atual contexto educacional, o que importa é o que se conta. Notavelmente, a avaliação da OCDE PISA em 2025 avaliará a capacidade dos estudantes de 15 anos de “Pesquisar, avaliar e usar informações científicas para tomada de decisão e ação”. Esse novo foco nasce do reconhecimento de que estamos vivendo em uma era de desinformação. No entanto, muito mais é necessário. Testar a capacidade dos estudantes de identificar falhas em argumentos científicos – ou seja, explicar por que a resposta errada está errada – deve ser tão importante quanto ser capaz de justificar por que a resposta certa está certa. Igualmente importante é a capacidade de identificar fontes questionáveis de informação e de articular o por que sua confiabilidade deve ser questionada.

Nossa tarefa contemporânea, conforme observado na introdução, é separar informações confiáveis de informações errôneas e desinformação. Testar a capacidade dos estudantes de identificar as falhas em argumentos comuns ou as deficiências na credibilidade das fontes é fundamental para a competência que buscamos desenvolver. Isso não requer uma grande mudança tanto quanto uma mudança na forma como as questões são formuladas e, argumentaríamos, é prontamente implementável. Mais uma vez, requer investimento no desenvolvimento de novos itens de avaliação, avaliando sua validade e confiabilidade e divulgando-os amplamente pelos órgãos competentes.

Para concluir

A internet transformou a sociedade em que vivemos. Além de seus muitos benefícios, trouxe uma enxurrada de desinformação. Juntamente com muitos outros, compartilhamos a visão de que, se não for controlado, o veneno da desinformação é uma ameaça fundamental para nossas sociedades. A confiança nas instituições de nossas democracias está no nível mais baixo de todos os tempos. A resolução de divergências depende da crença na objetividade e da capacidade de raciocinar usando evidências confiáveis.

O que o conhecimento científico confiável aponta é invocado cada vez mais fortemente por ativistas ambientais adolescentes, como Greta Thunberg, e por movimentos como o Extinction Rebellion na Europa – movimentos que exigem que os líderes nacionais prestem atenção ao que a ciência tem a dizer. Não deve ser deixado para a juventude de hoje defender o por que das evidências científicas serem importantes. Cientistas e educadores científicos precisam explicar e justificar como, quando e por que a ciência pode ser confiável.

Instamos cientistas, educadores em ciência e formuladores de políticas a reconhecer e atender a esses argumentos, para priorizá-los em suas discussões e comunicações

uns com os outros e com outsiders. Para desenvolver a competência para obter, avaliar e comunicar, a informação deve ser o foco das aulas de ciências, do treinamento de professores, do desenvolvimento profissional de professores e da avaliação de ciências. Não podemos lamentar a abundância de desinformação se não estivermos preparados para defender o que nos é caro. Em resumo, para explicar por que a ciência é importante e por que e quando ela deve ser confiável.

REFERÊNCIAS

1. Höttecke, D. and D. Allchin, 'Reconceptualizing nature-of-science education in the age of social media.' *Science Education*, 2020. 104 (4): p. 641–666
2. Kozyreva, A., S. Lewandowsky, and R. Hertwig, 'Citizens Versus the Internet: Confronting Digital Challenges With Cognitive Tools.' *Psychological Science in the Public Interest*, 2020. 21(3): p. 103–156.
3. Vosoughi, S., D. Roy, and S. Aral, 'The spread of true and false news online.' *Science*, 2018. 359(6380): p. 1146–1151.
4. Chinn, C.A., S. Barzilai, and R.G. Duncan, 'Education for a "post-truth" world: New directions for research and practice.' *Educational Researcher*, 2020: p. 0013189X20940683.
5. Kavanagh, J. and M.D. Rich, *Truth Decay: An Initial Exploration of the Diminishing Role of Facts and Analysis in American Public Life*. 2018, RAND Corporation: Santa Monica, California.
6. Cook, J., S. Lewandowsky, and U.K.H. Ecker, 'Neutralizing misinformation through inoculation: Exposing misleading argumentation techniques reduces their influence.' *PLoS ONE*, 2017. 12(e0175799).
7. McIntyre, L., *Post-Truth*. 2018, Cambridge, MA: MIT Press.
8. Bak-Coleman, J.B., et al., 'Stewardship of global collective behavior.' *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2021. 118(27).
9. Hardwig, J., 'Epistemic dependence.' *The Journal of Philosophy*, 1985. 82: p. 335–349.
10. Norris, S.P., 'Intellectual Independence for Nonscientists and Other Content-Transcendent Goals of Science Education'. *Science Education*, 1997. 81(2): p. 239–58.
11. Nichols, T., *The Death of Expertise: the Campaign Against Established Knowledge and Why it Matters*. 2017, New York: Oxford University Press.
12. Sinatra, G.M. and B.K. Hofer, *Science denial: why it happens and what to do about it*. 2021, New York: Oxford University Press.
13. Lynch, M.P., *The Internet of Us: Knowing more and understanding less in the age of big data*. 2016, New York: WW Norton & Company.
14. Jewett, A., *Science Under Fire*. 2020, Cambridge, MA: Harvard University Press.
15. Russell, B., *Sceptical essays*. 1928, London: George Allen & Unwin Ltd.
16. Oreskes, N., *Why Trust Science?* 2019: Princeton University Press.
17. Mance, H., 'Britain has had enough of experts, says Gove', in *Financial Times*. 2016.
18. Bornmann, L., R. Haunschild, and R. Mutz, 'Growth rates of modern science: a latent piecewise growth curve approach to model publication numbers from established and new literature databases'. *Humanities and Social Sciences Communications*, 2021. 8(1): p. 224.
19. Zhang, L., J.J.W. Powell, and D.P. Baker, 'Exponential Growth and the Shifting Global Center of Gravity of Science Production, 1900–2011.' *Change: The Magazine of Higher Learning*, 2015. 47(4): p. 46–49.
20. Simon, H.A., 'A behavioural model of rational choice.' *Quarterly Journal Of Economics*, 1955. 69: p. 99–118.
21. Hertwig, R. and A. Kozyreva, 'Bounded rationality: A vision of rational choice in the real world,' in *The handbook of rationality*, M. Knauff and W. Spohn, Editors. 2021, MIT Press: Cambridge. p. 505–515.
22. Bell, C., 'A hundred years of Lancet language'. *Lancet*, 1984. 2(8417–8418): p. 1453.

23. Bromme, R. and S.R. Goldman, 'The Public's Bounded Understanding of Science.' *Educational Psychologist*, 2014. 49(2): p. 59–69.
24. Spencer, H., *What knowledge is of most worth*. 1884, New York: JB Alden.
25. Barzilai, S. and C.A. Chinn, 'A review of educational responses to the "post-truth" condition: Four lenses on "post-truth" problems.' *Educational Psychologist*, 2020. 55(3): p. 107–119.
26. Willingham, D.T., 'Critical Thinking: Why Is It So Hard to Teach?' *Arts Education Policy Review*, 2008. 109(4): p. 21–32.
27. Feinstein, N., 'Salvaging science literacy.' *Science Education*, 2011. 95(1): p. 168–185.
28. Ryder, J., 'Identifying science understanding for functional scientific literacy.' *Studies in Science Education*, 2001. 36: p. 1–44.
29. Origi, G., *Reputation: What it is and why it Matters*. 2019: Princeton University Press.
30. Merton, R.K., ed. *The sociology of science : theoretical and empirical investigations*. 1973, University of Chicago Press: Chicago.
31. Ziman, J., *Reliable Knowledge*. 1979, Cambridge: Cambridge University Press.
32. Harré, R., *Varieties of realism: a rationale for the natural sciences*. 1986, Oxford: Basil Blackwell.
33. Pinker, S., *Enlightenment NOW: The Case for Reason, Science, Humanism and Progress*. 2018, London: Allen Lane.
34. Dawkins, R., *Unweaving the rainbow: Science, delusion and the appetite for wonder*. 2000: Mariner Books.
35. Bennett, S., K. Maton, and L. Kervin, 'The 'digital natives' debate: A critical review of the evidence.' *British journal of educational technology*, 2008. 39(5): p. 775–786.
36. Palfrey, J. and U. Gasser, *Born digital: Understanding the first generation of digital natives*. 2011: ReadHowYouWant.com.
37. Hargittai, E., 'Digital na(t)ives? Variation in internet skills and uses among members of the "net generation".' *Sociological inquiry*, 2010. 80(1): p. 92–113.
38. Breakstone, J., et al., 'Students' Civic Online Reasoning: A National Portrait.' *Educational Researcher*, 2021. 50(8): p. 505–515.
39. Breakstone, J., et al., 'Lateral reading: College students learn to critically evaluate internet sources in an online course.' *Harvard Kennedy School (HKS) Misinformation Review*, 2021. 2.
40. Bartlett, J. and C. Miller, *Truth, lies and the Internet: a report into young people's digital fluency*. 2011.
41. Barzilai, S. and A. Zohar, 'Epistemic thinking in action: Evaluating and integrating online sources.' *Cognition and Instruction*, 2012. 30(1): p. 39–85.
42. McGrew, S., et al., 'Can students evaluate online sources? Learning from assessments of civic online reasoning.' *Theory & Research in Social Education*, 2018. 46(2): p. 165–193.
43. Walraven, A., S. Brand-Gruwel, and H.P. Boshuizen, 'How students evaluate information and sources when searching the World Wide Web for information'. *Computers & Education*, 2009. 52(1): p. 234–246.
44. Breakstone, J., et al., 'Students' civic online reasoning: A national portrait.' *Educational Researcher*, 2019: p. 0013189X211017495.
45. Wineburg, S. and N. Ziv, 'The Meaninglessness of the .Org Domain,' in *New York Times*. 2021: New York.
46. Nygren, T. and M. Guath, 'Swedish teenagers' difficulties and abilities to determine digital news credibility.' *Nordicom Review*, 2019. 40(1): p. 23–42.
47. Porat, E., I. Blau, and A. Barak, 'Measuring digital literacies: Junior high-school students' perceived competencies versus actual performance.' *Computers & Education*, 2018. 126: p. 23–36.
48. Oreskes, N. and E.M. Conway, *Merchants of Doubt*. 2010, New York: Bloomsbury Press.

49. Lakatos, I., 'Falsification and the methodology of scientific research programmes,' in *Criticism and the Growth of Knowledge*, I. Lakatos and A. Musgrave, Editors. 1974, Cambridge University Press: London.
50. Latour, B., *Pandora's hope: Essays on the reality of science studies*. 1999, Cambridge, MA: Harvard Univ Press.
51. Zemplén, G.Á., 'Putting sociology first—reconsidering the role of the social in 'nature of science' education.' *Science & Education*, 2009. 18(5): p. 525–559.
52. Kienhues, D., R. Jucks, and R. Bromme, 'Sealing the gateways for post-truthism: Re-establishing the epistemic authority of science.' *Educational Psychologist*, 2020. 55(144–154).
53. Elgin, C.Z., *True Enough*. 2017, Cambridge, MA: Harvard University Press.
54. Siegel, H., 'The Rationality of Science, Critical Thinking and Science Education' *Synthese*, 1989. 80(1): p. 9–42.
55. Allchin, D., 'Teaching the nature of science through scientific errors' *Science Education*, 2012. 96(5): p. 904–926.
56. Duncan, R.G., C.A. Chinn, and S. Barzilai, 'Grasp of evidence: Problematizing and expanding the Next Generation Science Standards' conceptualization of evidence.' *Journal of Research in Science Teaching*, 2018. 55(7): p. 907–937.
57. Sharon, A.J. and A. Baram-Tsabari, 'Can science literacy help individuals identify misinformation in everyday life?' *Science Education*, 2020. 104(5): p. 873–894.
58. Collins, H., *Are We All Scientific Experts Now?* 2014, Cambridge, UK: Polity Press.
59. Activation Lab, *Valuing Science*. 2017, Lawrence Hall: Berkeley, CA.
60. Neuvonen, M., K. Kivinen, and M. Salo, *Fact-checking for educators and future voters*. 2018, Factbar EDU: Factbar EDU, Finland.
61. Pennycook, G., et al., 'Shifting attention to accuracy can reduce misinformation online.' *Nature*, 2021. 592(7855): p. 590–595.
62. Basol, M., J. Roozenbeek, and S. van der Linden, 'Good news about bad news: Gamified inoculation boosts confidence and cognitive immunity against fake news'. *Journal of cognition*, 2020. 3(1).
63. Roozenbeek, J. and S. Van Der Linden, 'The fake news game: actively inoculating against the risk of misinformation.' *Journal of Risk Research*, 2019. 22(5): p. 570–580.
64. Guess, A.M., et al., 'A digital media literacy intervention increases discernment between mainstream and false news in the United States and India.' *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2020. 117(27): p. 15536–15545.
65. Lewandowsky, S., et al., *The Debunking Handbook 2020*. 2020. <https://sks.to/db2020>.
66. Lewandowsky, S. and S. van der Linden, 'Countering Misinformation and Fake News Through Inoculation and Prebunking.' *European Review of Social Psychology*, 2021: p. 1–38.
67. Wineburg, S. and S. McGrew, 'Lateral Reading and the Nature of Expertise: Reading Less and Learning More When Evaluating Digital Information.' *Teachers College Record*, 2019. 121(11): p. n11.
68. McGrew, S., 'Learning to evaluate: An intervention in civic online reasoning.' *Computers & Education*, 2020. 145: p. 103711.
69. Bergstrom, C.T. and J.D. West, *Calling bullshit: the art of skepticism in a data-driven world*. 2020: Random House.
70. Breakstone, J., et al., 'Why we need a new approach to teaching digital literacy.' *PHI DELTA KAPPAN*, 2018. 99(27–32).
71. Gigerenzer, G. and W. Gaissmaier, 'Heuristic decision making' *Annual review of psychology*, 2011. 62: p. 451–482.
72. Hafenbrädl, S., et al., 'Applied decision making with fast-and-frugal heuristics.' *Journal of Applied Research in Memory and Cognition*, 2016. 5(2): p. 215–231.

73. Wineburg, S., et al., 'Lateral Reading on the Open Internet: A District-Wide Field Study in High School Government Classes.' *Journal of Educational Psychology*, 2022 (in press).
74. Brashier, N.M. and E.J. Marsh, 'Judging truth.' *Annual Review of Psychology*, 2020. 71: p. 499–515.
75. Cialdini, R.B., *Influence: the psychology of persuasion*, revised edition. New York: William Morrow, 2006.
76. Goldman, A.I., 'Experts: Which Ones Should You Trust.' *Philosophy and Phenomenological Research*, 2001. 63(1): p. 85–110.
77. Michaels, D., *The triumph of doubt: dark money and the science of deception*. 2020: Oxford University Press.
78. Driver, R., et al., *Young People's Images of Science*. 1996, Buckingham: Open University Press.
79. Kitcher, P., *Science, Truth and Democracy*. 2001, Oxford: Oxford University Press.
80. Crombie, A.C., *Styles of scientific thinking in the European tradition: The history of argument and explanation especially in the mathematical and biomedical sciences and arts*. Vol. 1. 1994: Duckworth London.
81. Wong, S.L. and D. Hodson, 'From the horse's mouth: What scientists say about scientific investigation and scientific knowledge.' *Science Education*, 2009. 93(1): p. 109–130.
82. Rudolph, J.L., 'The lost moral purpose of science education.' *Science Education*, 2020. 104(5): p. 895–906.
83. Latour, B. and S. Woolgar, *Laboratory Life: The Construction of Scientific Facts*. 2nd ed. 1986, Princeton, NJ: Princeton University Press.
84. Claxton, G., *Educating the Inquiring Mind: the Challenge for School Science*. 1991, London: Harvester: Wheatsheaf.
85. Waldemeir, P., 'Wave of anti-vax Covid deaths takes its toll on US health workers,' in *Financial Times*. 2021: London, UK. p. 22.
86. Worth, K., *Miseducation: How Climate Change is Taught in America*. 2021, New York, NY: Columbia Global Reports.
87. Judge Jones, J.E., *Memorandum Opinion*. Case No:04 cv2688, 2005.
88. Longino, H.E., *Science as Social Knowledge*. 1990, Princetown, NJ: Princetown University Press.
89. Schauble, L., et al., 'Students' understanding of the objectives and procedures of experimentation in the science classroom.' *The Journal of the Learning Sciences*, 1995. 4(2): p. 131–166.
90. Watson, R., J. Swain, and C. McRobbie, 'Students' discussions in practical scientific enquiries.' *International Journal of Science Education*, 2004. 26(1): p. 25–46.
91. Cook, J., *Cranky Uncle Vs. Climate Change: How to Understand and Respond to Climate Science Deniers*. 2020, New York: Citadel Press.
92. Oreskes, N., 'The Scientific Consensus on Climate Change.' *Science*, 2004. 306: p. 1686.
93. Hofer, B. K., & Pintrich, P. R. (Eds.). (2002). *Personal Epistemology*. Lawrence Erlbaum.
94. Goldsworthy, A., R. Watson, and V. Wood-Robinson, *Developing understanding in scientific enquiry*. 2000, Hatfield: Association for Science Education.
95. Collins, H. and T. Pinch, *The Golem: what everyone should know about science*. 1993, Cambridge: Cambridge University Press.
96. Delamont, S., J. Benyon, and P. Atkinson, 'In the beginning was the Bunsen: the foundations of secondary school science.' *Qualitative Studies in Education*, 1988. 1: p. 315–28.
97. Hacking, I., *The emergence of probability: A philosophical study of early ideas about probability, induction and statistical inference*. 2006, Cambridge, UK: Cambridge University Press.
98. Kozyreva, A., et al., in *Taming Uncertainty*, R. Hertwig, T.J. Pleskac, and T. Pachur, Editors. 2019, MIT Press: Cambridge, MA. p. 343–362.
99. Operskalski, J.T. and A.K. Barbey, 'Risk literacy in medical decision-making.' *Science*, 2016. 352(6284): p. 413–414.

100. Wilke, C.O. and C.T. Bergstrom, 'Predicting an epidemic trajectory is difficult.' *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2020. 117(46): p. 28549.
101. Galesic, M. and R. Garcia-Retamero, 'Statistical numeracy for health: a cross-cultural comparison with probabilistic national samples.' *Archives of internal medicine*, 2010. 170(5): p. 462–468.
102. Fleischhut, N., S.M. Herzog, and R. Hertwig, 'Weather Literacy in Times of Climate Change.' *Weather, Climate and Society*, 2020. 12: p. 435–452.
103. Spiegelhalter, D., *The Art of Statistics: Learning from Data*. 2019, London UK: Penguin.
104. Spiegelhalter, D., M. Pearson, and I. Short, 'Visualizing Uncertainty About the Future.' *Science*, 2011. 333(6048): p. 1393–1400.
105. Gigerenzer, G., Risk literacy, in *This will make you smarter: New scientific concepts to improve your thinking* 2012, Harper Perennial. p. 259–261.
106. Adams, J., *Risk*. 1995, London: UCL Press Ltd.
107. Osborne, J.F. and A.R. Young, 'The biological effects of ultra-violet radiation: a model for contemporary science education.' *Journal of Biological Education*, 1998. 33(1): p. 10–15.
108. Lehrer, R. and L. Schauble, 'Cultivating model-based reasoning in science education,' in *The Cambridge handbook of the learning sciences*, R.K. Sawyer, Editor. 2006, Cambridge University Press: Cambridge. p. 371–387.
109. Harford, T., *How to Make the World Add Up: Ten Rules for Thinking Differently About Numbers*. 2020: Hachette UK.
110. Cairo, A., *How Charts Lie: Getting Smarter about Visual Information*. 2019, New York: Norton and Co.
111. Bernard, C., *An Introduction to the Study of Experimental Medicine*. 1957, New York: Dover Publication.
112. Donovan, B.M., 'Reclaiming Race as a Topic of the U.S. Biology Textbook Curriculum.' *Science Education*, 2015. 99: p. 1092–1117.
113. Donovan, B.M., 'Ending Genetic Essentialism Through Genetics Education.' *Human Genetics and Genomics Advances*, 2021. 3: p. 1–13.
114. Kahneman, D., *Thinking, fast and slow*. 2011: Macmillan.
115. Paulos, J.A., *Innumeracy*. 1988, London: Penguin Books.
116. Perlmutter, S., et al. *Sense and Sensibility [University Course]*. 2021; Available from: <https://sensesensibilityscience.berkeley.edu/>
117. Gottlieb, S., D. Keltner, and T. Lombrozo, 'Awe as a scientific emotion.' *Cognitive science*, 2018. 42(6): p. 2081–2094.
118. Valdesolo, P., J. Park, and S. Gottlieb, 'Awe and scientific explanation.' *Emotion*, 2016. 16(7): p. 937.
119. Osborne, J.F., S. Simon, and S. Collins, 'Attitudes towards Science: A Review of the Literature and its Implications'. *International Journal of Science Education*, 2003. 25(9): p. 1049–1079.
120. Potvin, P. and A. Hasni, 'Interest, motivation and attitude towards science and technology at K-12 levels: a systematic review of 12 years of educational research.' *Studies in Science Education*, 2014. 50(1): p. 85–129.
121. Harlen, W.E., *Principles and big ideas of science education*. 2010, Association for Science Education: Hatfield, Herts.
122. Lapsley, D. and D. Chaloner, 'Post-truth and science identity: A virtue-based approach to science education.' *Educational Psychologist*, 2020. 55(3): p. 132–143.
123. Allchin, D., 'The Credibility Games.' *American Biology Teacher*, 2020. 82: p. 535–541.
124. Edelman Trust, *Edelman Trust Barometer*. 2022, Edelman Trust.
125. Grizzle, A., et al., *Think Critically, Click Wisely! Media and Information Literate Citizens*. 2021, UNESCO: Paris.

126. Rudolph, J.L., *Scientists in the Classroom: The cold war reconstruction of American Science Education*. 2002, New York: Palgrave.
127. Bennett, N. and R. Turner-Bisset, 'Knowledge Bases and Teaching Performances,' in *Learning to Teach*, N. Bennett and C. Carré, Editors. 1993, Routledge: London. p. 149–164.
128. Turner-Bissett, R., *The Knowledge Bases of the Expert Teacher*. *British Educational Research Journal*, 1999. 25(1): p. 39–56.