

O Consenso Científico sobre Aquecimento Global Antropogênico: Considerações Históricas e Epistemológicas e Reflexões para o Ensino dessa Temática

The Scientific Consensus on Anthropogenic Global Warming: Historical and Epistemological Considerations and Reflections on Teaching this Issue

Alexandre Luis Junges  Brasil
Neusa Teresinha Massoni  Brasil

Um dos desafios da educação ambiental para o século XXI é a inserção da temática do aquecimento global ou mudanças climáticas na sala de aula escolar. A natureza complexa do tema torna difícil a tarefa do(a) professor(a) em separar os elementos controversos e não controversos dessa temática. Neste sentido, este trabalho visa ir ao encontro dessa dificuldade discutindo sob uma perspectiva da história e epistemologia da ciência a temática do consenso científico sobre aquecimento global antropogênico. Embora em contextos midiáticos e inclusive educacionais este tema muitas vezes ainda seja apresentado como um exemplo de controvérsia científica, argumentamos, tomando por bases trabalhos de história, filosofia e sociologia da ciência, que aquecimento global antropogênico é uma matéria sobre a qual existe atualmente um amplo e legítimo consenso científico. Neste sentido, defendemos que é necessário que educadores(as) e pesquisadores(as) em ensino de ciências tomem cautela ao tratar dessa temática da perspectiva do ensino da controvérsia e, de modo especial, prestem atenção ao que vem sendo chamado na literatura internacional de ‘controvérsias científicas fabricadas’ na esfera pública, com vistas a confundir o público em geral sobre a seriedade de diferentes problemas ambientais, inclusive as mudanças climáticas. Assim, consideramos importante que educadores(as) das ciências que pretendem optar pelo ensino da controvérsia em sala de aula aprofundem seus estudos de história da ciência para avaliar, de modo apropriado, o debate sobre aquecimento global.

Palavras-Chave: aquecimento global; controvérsia científica; consenso científico; controvérsias científicas fabricadas; educação ambiental.

One of the challenges of environmental education for the 21st century is the inclusion of the global warming or climate change theme in the school classroom. The complex nature of this subject makes it difficult for the teacher to distinguish the controversial from the noncontroversial elements regarding this issue. In this sense, this work aims

to meet this difficulty by discussing the scientific consensus on anthropogenic global warming from a perspective of the history and epistemology of science. Although in the media and even in educational contexts this theme is often presented as an example of scientific controversy, we argue, based on works of history, philosophy and sociology of science that anthropogenic global warming is a matter about which there is in fact an overwhelming and legitimate scientific consensus. In this sense, we argue that it is necessary for educators and researchers in science education to exercise caution in dealing with this issue from the perspective of teaching the controversy and, especially, to pay attention to what has been called in the international literature as ‘manufactured scientific controversies’ that aim to confuse the general public about the seriousness of environmental problems, including climate change. In this sense, we maintain that science educators who wish to choose to teach controversy in the classroom should deepen their studies on the history of science to evaluate the debate over global warming appropriately.

Keywords: global warming; scientific controversy; scientific consensus; manufactured scientific controversies; environmental education.

Introdução

Entre os diversos temas educacionais que estão na agenda da educação ambiental para o século XXI, a temática do aquecimento global (e/ou mudanças climáticas) é certamente uma das mais importantes¹. Educadores ambientais têm enfatizado a necessidade de formar futuros cidadãos ambientalmente responsáveis e preparados com conhecimentos e habilidades necessários para compreender e buscar soluções ao desafio das mudanças climáticas (IALEI, 2009). Contudo, muito ainda precisa ser feito para que essa temática seja incluída de forma mais ampla e efetiva nos currículos dos diferentes níveis de ensino (Jacobi, et al, 2011)².

Na literatura internacional de pesquisa em ensino de ciências a temática vem recebendo atenção apreciável com enfoque em diferentes abordagens. Uma abordagem muito utilizada nos últimos anos é o ensino centrado em questões sociocientíficas (*socioscientific issues*) e/ou questões sociocientíficas controversas (*controversial socioscientific issues*) (Kolsto, 2001; Sadler, 2004; Sadler, & Murakami, 2014). Tal abordagem compartilha com o movimento CTS (Ciência Tecnologia e Sociedade) a preocupação com um ensino de ciências mais reflexivo e sensível às questões da sociedade. O surgimento do movimento CTS trouxe um olhar mais crítico à concepção de educação científica, muitas vezes ainda vigente, de que um profundo conhecimento de fenômenos da natureza

1 Recentemente a ONU lançou a Agenda 2030 que especifica 17 objetivos para o desenvolvimento sustentável, entre os quais está o combate às mudanças climáticas <https://nacoesunidas.org/pos2015/agenda2030/>.

2 De modo especial no contexto brasileiro, apesar de possuir uma ampla legislação, como a Lei 9.795/1999 que institui a Política Nacional de Educação Ambiental, o Plano Nacional de Mudança do Clima e a Lei 12.187/2009 que institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima, as demandas para tratar desse tema em sala de aula ainda são altas.

habilitaria a tomada de decisões conscientes no campo social. Para Aikenhead (1985) o movimento surgiu, de um lado em função de problemas ambientais gerados pelo cenário socioeconômico da CT e, de outro, devido a uma mudança da visão sobre a natureza da ciência e do seu papel na sociedade, o que pode contribuir para uma educação em ciências na perspectiva da formação para cidadania. Isto implica discutir alternativas de aplicações de ciência e tecnologia e levar para as salas de aula questionamentos sobre se o desenvolvimento científico, tecnológico e econômico que podem conduzir, linear e automaticamente, ao desenvolvimento do bem-estar social (Auler, & Bazzo, 2001). Neste contexto, questões sociocientíficas são descritas como sendo questões sociais que possuem ligações conceituais ou tecnológicas com a ciência (Sadler, 2004). Ou seja, abarcam temas em que tanto fatores sociais como científicos desempenham papel central, requerendo o envolvimento de diferentes áreas do conhecimento para sua solução. Neste sentido, temáticas como aquecimento global, alimentos geneticamente modificados, células tronco, clonagem, uso de pesticidas etc., são algumas para as quais cabe a denominação “sociocientíficas”.

No Brasil, também encontramos abordagens de ensino da temática do aquecimento global a partir da perspectiva das controvérsias científicas e sociocientíficas (Flôr Vieira, & Bazzo, 2007; Pina, Silva, & Oliveira Júnior, 2010; Ribeiro, & Kawamura, 2014). Com isso, visa-se um ensino mais crítico em que o aluno é defrontado não com um conhecimento científico acabado, mas com um conhecimento em construção. Assim, a ideia é de que o aluno passaria a ter uma visão mais realista de como a ciência funciona, compreendendo que o conhecimento científico é fruto de uma construção social que envolve debate e argumentação.

Alinhamo-nos à abordagem de ensino com enfoque em questões sociocientíficas controversas, dada a necessidade urgente de uma educação científica que se preocupe com as questões mais amplas da nossa sociedade. Também concordamos com a necessidade de um ensino de ciências mais crítico e que forneça uma imagem mais realista de como a ciência funciona, ou seja, de que a ciência é permeada de controvérsias e incertezas e que em última análise o conhecimento científico deve ser visto como conhecimento falível, em constante construção e resignificação. Contudo, nossa preocupação no presente artigo é apontar para os riscos e a cautela que um(a) pesquisador(a) e/ou professor(a) da área de ensino de ciências deve ter ao optar pelo ensino das controvérsias, especialmente no que diz respeito ao que é tomado como controverso de um ponto de vista científico.

Num primeiro momento, nossa argumentação se baseia em uma discussão epistemológica a partir de trabalhos da filosofia da ciência que tratam do tema do consenso e da controvérsia na ciência. Com isso, pretendemos fornecer uma conceituação mais precisa dos elementos constituintes necessários para o surgimento e término de uma controvérsia científica. Em seguida, tomamos por base trabalhos de história e sociologia da ciência que se ocupam da temática do aquecimento global a fim de fornecer um panorama acerca dos aspectos consensuais e ainda controversos da temática.

De fato, não há dúvidas de que temas ambientais complexos como aquecimento

global são controversos, uma vez que nos remetem a aspectos políticos, econômicos, éticos, sociais e visões de mundo profundamente conflitantes. Contudo, como discutimos neste artigo, é preciso distinguir entre diferentes controvérsias, relacionadas a diferentes questões, quando tratamos dessa temática. Assim, por exemplo, existe um aquecimento global antropogênico³ em curso? Qual a velocidade com que o planeta vai aquecer? O que devemos fazer a respeito? São questões que são profundamente distintas e remetem a diferentes controvérsias.

Neste artigo dirigimos nossa preocupação para a primeira questão, ou seja, a existência de um aquecimento global antropogênico. De fato, trabalhos que discutem a temática do aquecimento global sob a perspectiva da controvérsia no contexto nacional (Flôr Vieira, & Bazzo, 2007; Pina, Silva, & Oliveira Júnior, 2010) consideram ou concebem que aquecimento global antropogênico ainda é um tema de ampla disputa na comunidade científica, ou seja, consideram que há ainda uma controvérsia científica em curso sobre a existência de um aquecimento global antropogênico.

A nosso ver, essa forma de apresentar a temática acaba por pecar em excesso no que é visto como controverso, por que, em realidade, há um amplo consenso entre especialistas a respeito da influência do ser humano no clima do planeta. Essa constatação é justificada tomando por base trabalhos de história e sociologia da ciência que se ocupam da temática do aquecimento global e que demonstram que há um consenso científico legítimo sobre aquecimento global antropogênico, ou seja, um consenso sobre a existência do aquecimento global causado pela ação humana. Embora historicamente ao longo do século XX esse tenha sido um caso de controvérsia científica, nas últimas duas décadas foi consolidado um amplo consenso científico acerca do aquecimento global antropogênico. Isso nos leva a ponderar que, para tratar desse tema da perspectiva da controvérsia científica em sala de aula, é preciso distinguir entre uma controvérsia científica histórica e uma controvérsia científica atual. Assim, recomendamos que aquecimento global antropogênico possa ser tratado como um caso histórico de controvérsia científica, mas não como uma controvérsia científica em curso.

De fato, ao tomar a temática como sendo uma controvérsia científica em curso, pesquisadores em ensino e professores acabam sendo vítimas do que outros autores chamam de “controvérsias científicas fabricadas” promovidas por um movimento de “ceticismo ambiental” que possui interesses políticos e econômicos relacionados à questão (Ceccarelli, 2011; Harker, 2015; Oreskes, & Conway, 2010). Assim, chamamos a atenção para a necessidade de pesquisadores e educadores da área de Educação em Ciências, que discutem a inserção da controvérsia na sala de aula de ciências, prestarem atenção para a existência de “controvérsias científicas fabricadas” na esfera pública, que visam confundir o público em geral, mascarando uma controvérsia sobre política e valores como sendo uma controvérsia científica.

3 O termo “antropogênico” se refere a efeitos e processos derivados da atividade humana.

Controvérsia e consenso na ciência: considerações epistemológicas

Atualmente é reconhecido que episódios de controvérsias científicas são parte constituinte da atividade científica (Engelhardt, & Caplan, 1987; Machamer, Pera, & Baltas, 2000). Um olhar para a história da ciência revela que grandes conquistas científicas, como o Modelo Heliocêntrico de Copérnico, a Teoria da Relatividade, a Teoria Quântica, a Teoria das Placas Tectônicas, a Teoria de Darwin, entre outras, envolveram disputas e desacordos entre cientistas que se traduziram em longas controvérsias científicas. Embora filósofos da tradição clássica⁴ tenham considerado que a existência de controvérsias seja sinal de irracionalidade dos cientistas envolvidos, pois a manutenção do desacordo seria devido à influência de fatores não-epistêmicos ou extracientíficos, muito mudou na filosofia da ciência a partir da metade do século XX. Filósofos da ciência passaram a considerar que fatos científicos envolvem interpretação, que a relação entre evidência e hipótese resiste a uma análise lógica e que “crenças de fundo” (Longino, 1990; Baltas, 2001), “perspectivas de acesso” (Lugg, 1978) e “juízos de valor” fazem parte do processo de escolha de teorias (Kuhn, 1974; McMullin, 1982). Nestas abordagens da filosofia da ciência, o desacordo não é visto como sendo estranho à ciência, mas sim, uma consequência natural da existência de teorias competidoras.

Contudo, reconhecer que o desacordo e a controvérsia são partes da ciência torna igualmente razoável reconhecer que o consenso também o é. Teorias que foram objeto de intensos debates no passado (como os casos de controvérsia mencionados anteriormente) são hoje praticamente de aceitação unânime entre cientistas, de modo que aquilo que chamamos de “conhecimento científico” envolve o consenso dos membros da comunidade científica sobre a legitimidade teórica e empírica de determinada teoria. Neste sentido, Miriam Solomon (2001, p.101) argumenta que nem o desacordo nem o consenso tem valor intrínseco na ciência, tudo dependeria do sucesso empírico⁵ de determinada teoria. Assim, na opinião da autora, o desacordo seria apropriado quando diferentes teorias têm diferentes sucessos empíricos; por sua vez, o consenso seria apropriado quando uma única teoria tem sucesso empírico relevante.

Para estender a discussão sobre controvérsia na ciência é importante apresentar algumas características de uma controvérsia científica que permitirão refletir sobre a constituição e o término de uma controvérsia científica. Em seu ensaio “Scientific controversy and its termination” (1987) Ernam McMullin nos oferece a seguinte caracterização de uma controvérsia científica:

[...] controvérsia é uma disputa pública e persistentemente mantida. Uma controvérsia científica se ocupa com uma questão de crença. Cada lado argumenta que o outro está errado e que eles mesmos estão certos, ou pelo menos tem o melhor caso. [...]

4 Entenda-se aqui o que McMullin (1987, p.50) chama de “classical theories of science”. Ou seja, aquelas posições que vão desde Aristóteles, passando por Descartes, Kant e o positivismo lógico, e que adotam duas teses: *Fundacionismo* (a ideia de que a ciência deve possuir um fundamento composto por uma classe especial de proposições verdadeiras) e *logicismo* (a ideia de que a ciência possui um método que permite decidir em cada caso qual de duas teorias é a melhor).

5 Solomon (2001) argumenta que o objetivo mais geral da ciência é o sucesso empírico.

A troca é pública, expressa por ambos os lados na forma escrita e oral, de modo que outros possam vir a julgar os méritos do caso. Um desacordo entre dois cientistas, não importando quão profundo, não é suficiente para constituir uma controvérsia até que os termos do seu desacordo sejam do conhecimento da comunidade científica em geral (Mcmullin, 1987, p.51).

Em primeiro lugar, uma controvérsia científica é um tipo particular de disputa em que os protagonistas (cientistas) são membros de uma comunidade científica. Contudo, uma disputa ou um simples desacordo entre dois cientistas não é suficiente para constituir uma controvérsia científica. Mesmo que uma controvérsia inicie com dois indivíduos, ela é essencialmente uma atividade comunitária, de modo que outros membros da comunidade científica, com a competência necessária, podem tomar parte da disputa ou julgar os méritos de cada posição. Assim, antes de mais nada, um desacordo entre dois cientistas deve ser tornado público perante a comunidade científica, de modo que os argumentos de cada lado possam estar sujeitos ao escrutínio da comunidade científica mais ampla.

Isto sugere que nem todo desacordo público entre cientistas gera uma controvérsia científica. Casos de desacordo entre cientistas que remetam à ação de fatores motivacionais como preconceito e rivalidade, disputa por fama, disputa ideológica, se tornados públicos, não geram uma controvérsia científica. Por sua vez, desacordos e questionamentos de alguém que é percebido pela comunidade científica como sendo incompetente, tendencioso ou que se baseia em argumentos que já foram refutados não resultam em controvérsia científica. Assim, por exemplo, defesas de hipóteses extravagantes como a existência de homens verdes em Marte, ou as que questionam a forma da Terra (se plana ou redonda) e sua localização no Sistema Solar ou, inclusive, defesas de visões absolutistas sobre espaço e tempo que questionam a equivalência de referenciais inerciais (teoria da relatividade) não são capazes de gerar uma controvérsia científica. É interessante notar que mesmo que publicamente sempre existam vozes que defendam tais posições, a comunidade científica atual não está inclinada a considerá-las com seriedade, daí que não constituem controvérsias científicas autênticas⁶. Dessa forma, pode-se dizer que uma controvérsia científica existe apenas quando partes substanciais da comunidade científica reconhecerem que há mérito científico nos argumentos de ambos os lados de uma disputa pública entre cientistas (Mcmullin, 1987).

Essas observações sobre a constituição de uma controvérsia científica também se aplicam ao término de uma controvérsia científica. Um olhar para a história da ciência mostra que sempre existem remanescentes inconformados que continuam a defender sua posição, mesmo após a grande maioria da comunidade científica ter considerado que determinada controvérsia está encerrada. Como exemplos temos a não aceitação da teoria das placas tectônicas pelo geólogo russo Belousov (Lugg, 1978), a resistência de

6 Freudenthal (2000) observa que para que um caso de desacordo seja um candidato a uma controvérsia científica é preciso que a disputa envolva questões com conteúdo científico. Disputas sobre as provas da existência de Deus são um exemplo de questões que geram debates intermináveis, mas tais controvérsias são melhor classificadas como controvérsias na religião ou teologia e não como controvérsias científicas.

Priestley frente à nova teoria do oxigênio de Lavoisier (Barrota, 2000), a não aceitação de Fred Hoyle da teoria do Big Bang (Mcmullin, 1987), entre outros casos. Tais oposições se deram em contextos em que já havia um consenso massivo entre especialistas, ou seja, do ponto de vista da comunidade científica, a controvérsia estava encerrada.

Estes e outros exemplos históricos sugerem que a presença de vozes discordantes na comunidade científica não é suficiente para a constituição ou manutenção de uma controvérsia científica. Como já observado, tudo depende se partes substanciais da comunidade científica consideram que há mérito nas posições dos objetores. Partes substanciais? Quantos cientistas? Qual nível de consenso? Estas são questões para as quais não é possível fornecer uma definição ou resposta em termos de números precisos (Mcmullin, 1987). Contudo, como discutido a seguir, avaliar adequadamente o término de uma controvérsia científica é uma tarefa que requer, necessariamente, uma análise histórica cuidadosa.

A análise descrita até aqui torna central o papel da comunidade científica na avaliação de uma controvérsia científica e, por isso, merece um comentário adicional. Como destacado anteriormente, uma vez reconhecidas as limitações da concepção clássica que buscava por um método universal para resolver disputas, a situação típica de uma controvérsia passa a ser melhor representada por um jogo dialético entre oponentes (Machamer, Pera, & Baltas, 2000). Ou seja, cientistas estão envolvidos num complexo processo dinâmico de argumento, debate e negociação que ocorre de forma pública no interior da comunidade científica. Como observam Machamer, Pera, & Baltas (2000):

Assim como em um julgamento, onde o juiz é reivindicado a estabelecer qual posição é a preferível dada a evidência relevante, numa controvérsia científica os juízes, isto é, a comunidade científica, são chamados a estabelecer qual posição é a melhor dados os fatores relevantes apresentados por ambas as partes (Machamer, Pera, & Baltas, 2000, p.11).

A analogia com um júri é interessante, pois revela a dimensão dialética da justificação das teorias científicas. Ou seja, a ideia de que a justificação de uma teoria científica seja proveniente da defesa pública das teorias contra objeções disponíveis dentro da comunidade. Esta posição é explicitamente discutida por Hakli (2011) e, de modo similar, por Longino (1990, 2002). Segundo Hakli (2011), um grupo (no nosso caso, a comunidade científica) está epistemicamente justificado em adotar determinada posição se o grupo considerou toda evidência disponível aos membros do grupo e discutiu abertamente os argumentos a favor e contra a posição adotada.

Longino (1990, 2002) enfatiza o processo de crítica no interior da comunidade científica como sendo um aspecto central para formação de um consenso científico legítimo. A autora chama este processo de crítica de “criticismo transformativo” (*transformative criticism*), cuja finalidade é promover a incorporação de hipóteses livres de preferências subjetivas individuais, de modo que a objetividade não é uma conquista de um cientista individual, mas sim da comunidade científica como um todo (Longino, 1990). Nessa concepção, é através do conflito e da integração de uma variedade de pontos de vista que dados experimentais e hipóteses são transformados naquilo que finalmente

será aceito como conhecimento científico. De fato, é neste contexto que os procedimentos de revisão por pares e o requerimento de reprodutibilidade dos resultados relatados em publicações são de suma importância. Para Longino, é justamente o diálogo crítico no interior da comunidade que fornece um critério para distinguir entre um consenso legítimo de um consenso ilegítimo, ou seja, onde existe consenso ele deve ser o resultado [] “de um diálogo crítico no qual todas as perspectivas relevantes estão representadas” (Longino, 2002, p.131).

O papel do diálogo crítico na formação do consenso permite considerar que uma controvérsia científica chega ao fim via resolução racional quando, do ponto de vista da comunidade científica (que envolve a evidência e outros fatores epistêmicos⁷ compartilhadas pela comunidade), um dos lados da disputa desfruta de uma reconhecida vantagem em sua capacidade de responder às questões relevantes⁸. Dessa maneira, embora o desacordo e a resistência possam ser benéficos na promoção do sucesso epistêmico a longo prazo (Solomon, 2001), nem todo desacordo e resistência por parte de remanescentes são considerados seriamente pela comunidade científica. Se os argumentos e teorias dos remanescentes se mostrarem implausíveis para os membros da comunidade científica em geral, nenhuma controvérsia científica surgirá ou persistirá (Mcmullin, 1987)⁹. É claro que a comunidade pode estar enganada. A história da ciência nos ensina a sermos humildes com relação ao conhecimento científico em vigor, uma vez que o consenso, as metodologias e a própria ciência são falíveis. Porém, a questão relevante que devemos ter em mente não é sobre se o consenso possa estar em erro, mas sim, se há razões para pensar que ele está errado.

Finalmente, além do aspecto comunitário das controvérsias científicas, McMullin (1987) considera que uma controvérsia científica é um evento histórico. Desse modo, se queremos avaliar o impacto epistêmico do desacordo dos remanescentes devemos tomar em consideração o contexto histórico em que a controvérsia ocorreu. De fato, a complexidade de fatores epistêmicos e não-epistêmicos que podem estar envolvidos numa controvérsia científica torna a tarefa de fornecer um veredito confiável algo

7 Entenda-se por fatores epistêmicos resultados observacionais e experimentais, teorias aceitas, acusações de inconsistência, resultados teóricos, interpretações, pressuposições, críticas e respostas. Por sua vez, fatores ‘não-epistêmicos’ envolvem, por exemplo: personalidade do cientista (abertura à crítica, ambição, etc.), pressões institucionais, influências políticas (financiamento), hostilidade entre cientistas, entre outros (Mcmullin, 1987).

8 McMullin (1987) destaca diferentes modos em que uma controvérsia pode terminar, a saber, por *resolução* racional, *fechamento* ou por *abandono*. Na *resolução* racional, o consenso é alcançado essencialmente através de fatores epistêmicos. O *fechamento* envolve fatores não-epistêmicos como, por exemplo, a perda de fundos para a pesquisa por parte de um dos lados da disputa. Por fim, o *abandono* envolve o desinteresse pelo tema, por exemplo, através da morte de um (ou mais) dos protagonistas relevantes envolvidos. Para o autor, é justamente na resolução racional, onde o consenso é alcançado através da ação de fatores epistêmicos, que podemos falar num término satisfatório da controvérsia.

9 De fato, segundo McMullin (Ibid), isso não significa que uma questão objeto de consenso científico não possa vir a ser alvo de controvérsia. Por exemplo, se um número considerável de não-cientistas rejeita o consenso científico, cientistas podem ser forçados a tomar o caso seriamente, mesmo que não considerem que exista algum mérito no questionamento. O ponto é que na medida em que a comunidade científica faz parte de uma comunidade maior, é necessário que os cientistas forneçam uma resposta. Contudo, a controvérsia daí resultante já não é mais uma controvérsia científica.

extremamente delicado. Neste sentido, fornecer um veredito sobre se um determinado caso de desacordo constitui um caso legítimo de controvérsia científica, ou se determinado episódio de controvérsia científica chegou a um término via resolução racional, deverá, necessariamente, envolver uma análise histórica cuidadosa¹⁰.

Neste sentido, ao acessar determinado caso histórico de controvérsia, é importante conhecer a qualificação científica e a opção ideológica dos protagonistas envolvidos, acessar os argumentos e, em se tratando de questionar o consenso científico existente, é imprescindível que o status epistêmico do consenso existente seja investigado. Isto é, como destacado anteriormente, devemos verificar se a construção do consenso ocorreu de acordo com os critérios ou padrões epistêmicos que regem a comunidade científica, em especial, se as diferentes perspectivas, argumentos, objeções e linhas de evidência foram adequadamente considerados e respondidas.

Estas são considerações que deveremos ter em mente ao acessar a aparente controvérsia atual das mudanças climáticas. Não há dúvida de que este ainda é um tópico controverso. Contudo, se o consenso científico é um consenso legítimo, então a controvérsia que persiste não é uma controvérsia científica, mas antes uma controvérsia que, em face da importância social das mudanças climáticas, transcende as fronteiras da ciência e cujas causas e motivos se estendem às nossas diferenças políticas e ideológicas mais profundas (Hulme, 2009).

Um breve relato histórico da ciência do aquecimento global

Como visto anteriormente, a avaliação de uma controvérsia científica requer uma análise histórica envolvendo o conhecimento dos protagonistas envolvidos e seus argumentos. No que tange à temática do aquecimento global, este trabalho tem sido feito por historiadores da ciência competentes como o físico Spencer Weart do *American Institute of Physics* e o historiador da meteorologia James Rodger Fleming. Em seus livros, estes autores discutem de forma exaustiva a evolução histórica da pesquisa sobre mudanças climáticas e aquecimento global (Fleming, 1998; Weart, 2008,). A presente seção apresenta um breve relato dessa história, de modo que o leitor interessado poderá aprofundar a investigação consultando as obras destes historiadores e outras fontes que serão apresentadas ao longo do texto.

As origens mais recentes da discussão sobre a agência humana no clima remontam aos trabalhos do matemático e cientista francês Jean Baptiste Joseph Fourier (1768–1830). Em 1824, Fourier apresentou um artigo *Académie Royale des Sciences* em Paris, no qual discutiu pela primeira vez a questão das temperaturas planetárias, apontando o calor do Sol, o calor interno da Terra e o calor proveniente das estrelas circundantes como

10 Estas observações estão em consonância com as abordagens de autores contemporâneos que se ocuparam com a questão do significado e impacto epistêmico do desacordo. Em especial, Thomas Kelly (2010) defende que saber como devemos reagir (se revisar ou não nossa posição) frente ao desacordo é uma questão que não pode ser respondida de modo *a priori*, ou seja, independente dos detalhes e das circunstâncias envolvidas em cada caso específico. Assim, a única exigência normativa que deve ser respeitada num caso de desacordo é a exigência de respeitar a evidência total disponível.

sendo os principais fatores que determinam a temperatura planetária. Contudo, Fourier especulou que a atmosfera também teria um papel a desempenhar na determinação da temperatura planetária. Ele escreveu [...]“a temperatura (da Terra) pode ser aumentada pela interposição da atmosfera, por que o calor no estado de luz encontra menos resistência em penetrar o ar, do que em repassar pelo ar quando convertido em calor não luminoso” (Fourier, 1824 citado em Fleming, 1998, p. 61)¹¹.

Embora Fourier especulasse acertadamente que a atmosfera desempenhasse um papel na temperatura planetária, os mecanismos envolvidos que tornam a atmosfera mais opaca à radiação infravermelha do que à luz visível eram completamente desconhecidos à época. Foi o engenheiro inglês John Tyndall que, em 1859, iniciou uma série de experimentos sobre as propriedades radioativas de diversos gases utilizando-se de seu recém construído espectrofotômetro, concluindo que gases como o dióxido de carbono (CO₂) e o vapor d'água (H₂O) exibiam propriedades de absorção da radiação infravermelha, enquanto que o oxigênio, o nitrogênio e o hidrogênio, não exibiam propriedades de absorção da radiação infravermelha (Fleming, 1998). Além disso, Tyndall também especulou que mudanças na composição química da atmosfera poderiam oferecer uma possível explicação para as eras do gelo do passado, cujas evidências de ocorrência estavam sendo reveladas pelas pesquisas de geólogos.

Em 1896, o cientista sueco Svante Arrhenius, prêmio Nobel de Química em 1903, retomou o tema num artigo apresentado à Sociedade Física de Estocolmo, no qual argumentou que uma redução ou um aumento em 40% na concentração de dióxido de carbono da atmosfera, junto com mecanismos de retroalimentação (*feedback*) de vapor d'água, poderiam explicar os avanços e recuos das eras glaciais do passado (Fleming, 1998; Weart, 2008)¹². Em trabalhos subsequentes, Arrhenius desenvolveu em maior detalhe sua teoria do dióxido de carbono das mudanças climáticas, calculando e prevendo um aumento de 4°C na temperatura da atmosfera terrestre, caso a concentração de dióxido de carbono na atmosfera viesse a dobrar em relação aos níveis da época¹³.

Contudo, entre 1900 e 1940, a teoria do dióxido de carbono caiu em descrença. Em 1900, o físico Knut Angström, filho de Anders Jonas Angström um dos fundadores da espectroscopia, conclui que o CO₂ e o vapor d'água absorvem radiação infravermelha

11 A passagem de Fourier acima é a que mais se assemelha ao entendimento moderno do que passou a ser conhecido como “efeito estufa”, embora em nenhum momento Fourier faça alusão a expressão “efeito estufa” (Fleming, 1998).

12 Assim, por exemplo, supondo que a concentração de CO₂ aumentasse, isso levaria a um pequeno aquecimento da atmosfera, uma atmosfera mais quente comporta maior concentração de vapor d'água que, por sua vez, geraria um aquecimento considerável da atmosfera. Da mesma forma, seria possível promover um resfriamento da atmosfera com o processo inverso, ou seja, caso a concentração de CO₂ diminuísse, isso levaria a um resfriamento da atmosfera. Como uma atmosfera mais fria comporta menos vapor d'água, isto levaria a um resfriamento ainda maior (Weart, 2008).

13 Na época, tanto Arrhenius quanto Tyndall consideravam que as principais fontes de emissões de CO₂ eram os vulcões. Sobre as consequências de possíveis aumentos da concentração CO₂ na atmosfera devido à queima de combustíveis fósseis em face da crescente industrialização, Arrhenius concluiu que os efeitos de tais emissões humanas seriam apenas visíveis em milhares de anos no futuro, podendo inclusive serem benéficos, pois um aquecimento poderia retardar a chegada de uma nova era do gelo (Fleming, 1998, p.82).

nas mesmas regiões espectrais, ou seja, toda radiação que o CO₂ absorveria já seria absorvida pelo vapor d'água (Fleming, 1998). Outros cientistas argumentavam que o CO₂ presente na atmosfera já exerceria a sua plena capacidade de absorção de radiação, de modo que um acréscimo de CO₂ não aumentaria o efeito estufa. Finalmente, outros objetavam que o CO₂ proveniente de emissões humanas ou vulcânicas seria rapidamente absorvido pelos oceanos.

Tais objeções tiveram um efeito considerável nas décadas subsequentes, levando a praticamente um completo abandono da teoria do dióxido de carbono das mudanças climáticas. Ainda em 1951, o meteorologista C.E.P. Brooks, no *Compendium of Meteorology* escreveu que a teoria do CO₂ das mudanças climáticas [...]“nunca foi amplamente aceita e foi abandonada quando foi descoberto que toda radiação de ondas longas absorvida pelo CO₂ é também absorvida pelo vapor d'água” (Brooks, 1951 citado em Fleming, 1998, p.113).

Contudo, como ocorre muitas vezes na história da ciência, a teoria estava para ser retomada. A partir de 1938, o engenheiro inglês Guy Stewart Callendar, tomando por base os trabalhos de Arrhenius, publicou uma série de estudos sobre o ciclo do carbono, estimativas de concentração de CO₂ na atmosfera, propriedades espectroscópicas do CO₂ e estimativas da temperatura global com base em dados de estações meteorológicas da época (Fleming, 1998). Nos artigos de 1938 e 1939, Callendar argumenta que a combustão de combustíveis fósseis teria provocado um aumento de 6 % de CO₂ na atmosfera entre 1900 e 1936, e que este aumento de CO₂ seria o responsável pelo aumento da temperatura registrada nesse mesmo período (Fleming, 1998). Em 1941, Callendar também publica uma revisão sobre as novas medidas de absorção da radiação infravermelha pelo CO₂ que demonstravam que as bandas de absorção do CO₂ não coincidem com as do vapor d'água. Ou seja, a objeção de Knut Angström não seria um argumento decisivo contra a teoria¹⁴.

Contudo, Callendar, assim como Arrhenius, não considerava que as emissões antropogênicas seriam um problema para as futuras gerações. Callendar considerava, inclusive, que um pequeno aumento da temperatura resultante das emissões seria benéfico, pois retardaria o retorno a uma era do gelo. Além disso, como já observado anteriormente, a preocupação primordial de Tyndall, Arrhenius e também Callendar era a de resolver o enigma das eras do gelo e não uma preocupação com o aquecimento global antropogênico (Fleming, 1998; Weart, 2008). A essa altura, por volta de 1950, já haviam sido desenvolvidas uma série de teorias que visavam explicar o surgimento e o recuo das eras glaciais. Entre tais teorias pode-se citar: a das mudanças na radiação solar, mudanças na órbita da Terra (ciclos de Milankovitch), emissões vulcânicas na atmosfera, elevação de montanhas, mudanças na circulação atmosférica, mudanças na circulação oceânica, entre outras (Fleming, 1998, p. 109). A teoria do dióxido de carbono era apenas mais uma dessas teorias.

O passo seguinte em direção ao reavivamento e desenvolvimento da teoria do

14 Como observado por Fleming (1998), embora sendo um meteorologista amador, os trabalhos de Callendar foram amplamente discutidos na *Royal Meteorological Society* na Inglaterra, convencendo muitos pesquisadores da época da importância de investigar o papel do CO₂ no clima.

dióxido de carbono das mudanças climáticas foi dado pelo físico canadense Gilbert Plass, com formação em Harvard e Princeton e reconhecido por sua ampla experiência no estudo da radiação infravermelha. Em 1956, Plass publicou uma série de artigos nos quais argumentava que dobrar a concentração de CO₂ na atmosfera resultaria num aumento de 3,6°C na temperatura média da superfície da Terra (Plass, 1956). A vantagem de Plass era que ele tinha à disposição dados experimentais de espectroscopia mais precisos que Callendar, bem como, pode fazer uso dos primeiros computadores para o cálculo numérico da transferência de radiação na atmosfera. De fato, Plass (1956) reviu as principais objeções contra a teoria do CO₂, como a objeção de que o CO₂ absorvia nas mesmas regiões do vapor d'água e a de que CO₂ presente na atmosfera já exerceria a sua plena capacidade de absorção, argumentando que, em face das novas técnicas e dados espectroscópicos disponíveis, tais objeções não eram mais sustentáveis.

Sobre a questão das emissões humanas de CO₂, Plass (1956) estimou que tais emissões levariam a um aumento de 30% na concentração de CO₂ na atmosfera até o final do século XX e a um aumento de 1,1 °C na temperatura do planeta a cada século, caso nenhum outro fator interferisse para remover este excesso de CO₂ da atmosfera. Na conclusão do artigo Plass escreve:

Se até o final deste século as medidas mostrarem que as concentrações de dióxido de carbono na atmosfera tenham subido de forma apreciável e, ao mesmo tempo, a temperatura ao redor do mundo tenha continuado a subir, então estará firmemente estabelecido que o dióxido de carbono é um importante fator causador de mudança climática (Plass, 1956, p. 387).

A passagem de Plass é bastante instigante dado nosso conhecimento atual de que as concentrações de CO₂ e a temperatura realmente continuaram a subir¹⁵. Contudo, na época ainda era matéria de especulação se a concentração de CO₂ na atmosfera poderia aumentar de forma tão drástica. Como visto anteriormente, uma das objeções contra a teoria do dióxido de carbono era justamente a de que qualquer excesso de emissões naturais ou antropogênicas de CO₂ seria absorvido pelos oceanos, uma vez que os oceanos possuem uma quantidade muito maior de carbono dissolvido do que a atmosfera.

Essa objeção, contudo, não tardou a cair por terra em face dos novos desenvolvimentos e descobertas subsequentes, iniciadas com os trabalhos do oceanógrafo Roger Revelle em parceria com o especialista em datação de carbono Hans Suess. Em 1957 a partir de medidas de carbono 14 no ar e em águas oceânicas Revelle e Suess puderam mostrar que embora as águas da superfície oceânica absorvessem grandes quantidades de CO₂, a química das águas superficiais dos oceanos implicava também que parte do CO₂ absorvido acabava reevaporando¹⁶, de modo que os oceanos possuíam

15 Veja, por exemplo, o site da Nasa <https://climate.nasa.gov/>.

16 Segundo Spencer Weart, a explicação clara e detalhada desse mecanismo foi dada em 1959 por Bert Bolin e Erik Eriksson que concluíram que, de fato, os oceanos possuíam uma capacidade limitada de armazenamento de CO₂ fóssil emitido pelas atividades humanas <https://history.aip.org/climate/co2.htm#S2>.

um limite na capacidade de absorção do CO₂ (Weart, 2008).

Além de serem trabalhos preliminares e que posteriormente seriam revistos, os trabalhos de Revelle e Suess abriram caminho para a investigação mais precisa sobre a conexão oceano e atmosfera e as consequências provenientes da queima do carbono fóssil. É de Revelle e Suess a famosa passagem:

[...] o seres humanos estão realizando um experimento geofísico de larga escala de um tipo que não poderia ter acontecido no passado nem ser reproduzido no futuro. Dentro de alguns séculos, nós estaremos retornando para a atmosfera e os oceanos o carbono orgânico concentrado armazenado nas rochas sedimentares durante milhões de anos (Revelle, & Suess, 1957 citado em Fleming, 1998, p.125).

A essa altura, cientistas passaram a compreender que havia uma grande chance de as atividades humanas alterarem a composição química da atmosfera. Com essa preocupação, tornou-se vital dispor de medidas mais precisas da concentração de CO₂. É nesse momento que o trabalho de Charles David Keeling, de medida da concentração de CO₂ na atmosfera, passa a ter uma importância fundamental. Keeling havia se interessado pelo tema após ler os trabalhos e conversar com Gilbert Plass (Weart, 2008). Como pós doutorando do *Scripps Institution of Oceanography* da Califórnia, Keeling contou com a ajuda de Roger Revelle para conseguir fundos para iniciar suas medidas da concentração de CO₂ na atmosfera. Após a compra de equipamentos, as medidas se iniciaram por volta de 1957 em dois locais distintos: na Antártica (pólo Sul) e no Observatório Mauna Loa no Havaii.

Dois anos após o início das medidas, Keeling relatou que a concentração de CO₂ estava subindo (Weart, 2008). O resultado das medições de Keeling, que deu origem à famosa curva de carbono de Keeling, é atualmente amplamente reconhecido e representa um marco na pesquisa sobre o papel do dióxido de carbono no clima do planeta¹⁷. Os resultados das medidas feitas por Keeling finalmente refutaram o argumento de que qualquer excesso de emissões de CO₂ seria absorvido pelos oceanos.

Os trabalhos de Callendar, Plass, Revelle, Bolin e Keeling reposicionaram a teoria do dióxido de carbono das mudanças climáticas como uma teoria cientificamente respeitável, passando a fazer parte do cenário de teorias candidatas a explicar as grandes mudanças do clima do passado (como a teoria solar e a orbital) e, inclusive, prever possíveis variações do clima no futuro. Contudo, durante as décadas de 1960 e 1970, longe de haver unanimidade entre os cientistas, estes estavam divididos sobre qual seria a melhor teoria e quais os fatores (ciclo solar, ciclos orbitais, vulcões, aerossóis e CO₂) seriam mais importantes na regulação do clima do planeta¹⁸.

Para agravar o debate, em 1963 o respeitado climatologista Murray Mitchell publicou uma análise estatística da temperatura global, baseado em dados da *World*

17 Sobre a famosa curva de carbono de Keeling pode-se acessar http://en.wikipedia.org/wiki/Keeling_Curve, ou <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/full.html>.

18 Veja Spencer Weart na seção “Carbon dioxide: key to climate change (1960-1970)” <https://history.aip.org/climate/co2.htm#SP>.

Weather Records, indicando que desde 1940 estava em curso uma tendência de resfriamento do planeta (Weart, 2008)¹⁹. Alguns cientistas começaram a argumentar que tais dados contradiziam nitidamente as previsões de Callendar e Plass sobre um aquecimento do planeta. Outros cientistas argumentavam que uma tendência de resfriamento estava por vir, inclusive prevendo a chegada de uma nova era do gelo. As explicações eram diversas, alguns consideravam que tal tendência seria devido a erupções vulcânicas, outros apontaram mudanças na radiação solar. Por fim, um outro grupo de cientistas liderado pelo climatologista Stephen Schneider avaliou os impactos das emissões de aerossóis provenientes da poluição industrial, chegando a uma previsão de resfriamento futuro do planeta (Weart, 2008).

Essa controvérsia entre aquecimento e resfriamento global perdurou durante as décadas de 1960 e 1970 (Weart, 2008). Contudo, como demonstram Peterson, Connolley e Fleck (2008) em sua revisão da literatura no período 1956 a 1979, mesmo que os cientistas estivessem divididos, já naquele período havia um maior número de trabalhos prevendo uma tendência de aquecimento devido às emissões de CO₂. De fato, mais tarde, em face do surgimento de novas evidências e argumentos, cientistas como Stephen Schneider abandonaram a hipótese do resfriamento, passando, em seus escritos posteriores, a considerar seriamente a possibilidade de um aquecimento global devido às emissões antropogênicas de dióxido de carbono. Ao final da década de 1970, boa parte dos cientistas passara a considerar seriamente a possibilidade da forçante de aquecimento do CO₂ superar as forçantes de resfriamento naturais (como os vulcões e os ciclos de Milankovitch) e a forçante dos aerossóis antropogênicos (Peterson, Connolley, & Fleck, 2008).

O crescente reconhecimento da plausibilidade da teoria do CO₂ fica evidente no relatório da primeira conferência mundial sobre o clima (*World Climate Conference - WCC*) organizada pela *World Meteorological Organization* (WMO) em 1979 e que reuniu praticamente todos os grandes especialistas em clima do planeta (Weart, 2008). Podemos ver no relatório da conferência um alerta sobre a possibilidade da influência humana no clima e a recomendação de que pesquisas futuras deveriam investigar melhor a questão:

O estado atual da nossa compreensão científica do clima não permite previsões confiantes quanto à natureza das mudanças que provavelmente resultarão de atividades humanas nem quanto à taxa com que tais mudanças deverão ocorrer. No entanto, esse entendimento é suficiente para sugerir que certas atividades humanas, se mantidas em seus níveis atuais ou perseguidas em uma escala crescente, podem levar nas décadas seguintes à mudanças climáticas que teriam profundos efeitos sobre a humanidade. Existe, portanto, um senso especial de urgência para o estabelecimento de um programa de pesquisa internacional para examinar os vários aspectos dos impactos humanos sobre o clima, dando especial atenção ao acúmulo de dióxido de carbono na atmosfera, um assunto que merece atenção imediata (WMO, 1979, p.739).

19 Sobre a *World Weather Records* http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/wcdmp/GCDS_2.php. Veja, também, Weart na seção “Warming or Cooling? (1960–1974)” <https://history.aip.org/climate/20ctrend.htm#S2>.

Durante a década de 1980, a evidência em favor do aquecimento global antropogênico foi ganhando força. No início de 1980, novos trabalhos, com maior número de dados de estações meteorológicas, reavaliaram a alegação anterior de resfriamento global, demonstrando que esta era apenas uma tendência do hemisfério norte (Weart, 2008)²⁰. O hemisfério sul havia sofrido um leve aquecimento e de um ponto de vista global, as temperaturas de 1940 não eram muito distintas das de 1970. Além disso, no início de 1980, temperaturas indicavam uma tendência de retomada de aquecimento (Hansen, et al., 1981).

Novas evidências provenientes das análises de mantos de gelo da Antártica e da Groelândia passaram a revelar o papel do CO₂ na história climática (Weart, 2008). Em 1987, um grupo de cientistas franceses e russos da estação Vostok na Antártica publicou seus resultados das análises dos cilindros de gelo cobrindo 150 mil anos. O resultado foi surpreendente: as amostras revelavam que havia uma forte correlação entre os níveis de CO₂ e a temperatura, ou seja, quando o CO₂ estava alto a temperatura também estava alta e vice versa²¹. Doze anos mais tarde, em 1999, as perfurações feitas em Vostok permitiram aos cientistas voltarem 400 mil anos no tempo, cobrindo quatro eras glaciais. Novamente a mesma correlação entre os níveis de CO₂ e a temperatura foi observada. Tais evidências deixaram claro que o CO₂ fazia parte da história climática da Terra (Weart, 2008)²².

Ao final de 1980, uma tendência de aquecimento do clima já era observável. Ao mesmo tempo, modelos numéricos continuavam a prever um aumento da temperatura com o aumento das emissões de gases estufa como o CO₂. Seria o aumento da temperatura observado uma consequência do aumento do efeito estufa causado pelas emissões humanas? Ou seria esse aumento da temperatura parte da variabilidade natural do clima? De fato, nessa época, diversos especialistas consideravam que a detecção de um sinal antropogênico, acima do ruído da variabilidade natural, seria possível apenas dentro de uma década ou mais. Contudo, em 1988, o climatologista James Hansen, da NASA, resolveu tomar posição testemunhando diante do Senado Americano e defendendo que o aquecimento global antropogênico estava em curso (Weart, 2008). Muitos cientistas criticaram Hansen, pois ainda seria cedo para fazer tal afirmação. A essa altura, o assunto havia se tornado público e, no mesmo ano (1988), o jornal *New York Times* fez uma reportagem sobre o testemunho de Hansen. O tema estava agora na mídia e na política.

Ao longo da década de 1980, diversos esforços foram feitos para promover uma maior comunicação e cooperação entre cientistas de diferentes nacionalidades. Afinal, a atmosfera do planeta não possui fronteiras e seu entendimento requer a colaboração de

20 Veja Weart na seção “Warming Resumed (1975–1987)” <https://history.aip.org/climate/20ctrend.htm>.

21 Veja Weart <https://history.aip.org/climate/xVostokco2.htm>.

22 Os dados indicavam também que os níveis de CO₂ oscilavam entre o nível mais baixo de 180 ppm nos períodos de glaciação e os níveis mais altos de 280 ppm nos períodos interglaciais. Segundo o entendimento moderno das eras glaciais, embora o gatilho inicial seja fornecido pelos ciclos orbitais de Milankowitch, sua ocorrência requer a ação conjunta de diversos fatores, em especial, a ação do CO₂ e outros gases estufa como o vapor d'água <https://history.aip.org/climate/cycles.htm>.

cientistas do mundo inteiro, compartilhando dados e informações. Esse esforço foi em grande medida liderado pela Organização Meteorológica Mundial (*World Meteorological Organization–WMO*) e pelo Conselho Internacional de Ciência (*International Council for Science–ICSU*)²³.

Foram a ICSU e a WMO que, em 1979, promoveram a primeira Conferência Mundial do Clima (*World Climate Conference*), que deu origem ao *World Climate Programme* (WCP) ainda hoje em ativa e que inclui vários ramos como o *World Climate Research Program* (WCRP)²⁴. Em 1985, a ICSU e a WMO junto com a UNEP (*United Nations Environmental Programme*) organizaram a conferência *Assessment of the Role of Carbon Dioxide and of Other Greenhouse Gases in Climate Variations and Associated Impacts* em Villach na Austria, que contou com a participação de 89 cientistas de 23 nações. Essa conferência representou um marco para o reconhecimento da seriedade da possibilidade de um aquecimento global devido à emissão antropogênica de gases estufa²⁵ (Pearce, 2010).

Ao final da década de 1980, a preocupação com o tema era crescente. Os apontamentos da conferência de Villach, o testemunho do cientista da NASA James Hansen diante do Senado Americano em 1988 e a crescente e publicização do tema pela mídia desencadearam reações de diferentes setores²⁶. Foi neste momento que a WMO considerou que uma resposta mais precisa da comunidade científica seria necessária (Weart, 2008). Assim, em 1988, a WMO e UNEP criaram o *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC - <http://www.ipcc.ch/>), com a finalidade de avaliar o status do conhecimento científico até então existente sobre o tema²⁷.

23 O Conselho Internacional de Ciência é uma organização científica não governamental composta por 31 uniões científicas e 122 membros científicos (incluindo academias científicas) de 140 países <https://www.icsu.org/>.

24 Veja http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/index_en.html e *World Climate Research Program* <https://www.wcrp-climate.org/>. Outro programa lançado nesse período, mais especificamente em 1983, é o *International Geosphere-Biosphere Program* (IGBP) <http://www.igbp.net/>.

25 Veja Spencer Weart “International Cooperation” <https://history.aip.org/climate/internat.htm>. A conferência de Villach também deu origem ao grupo de trabalho *Advisory Group on Greenhouse Gases* (AGGG), que produziu diversos relatórios apontando para a seriedade do problema das emissões de gases estufa, podendo ser visto como o precursor do IPCC <https://www.icsu.org/what-we-do/our-work-at-the-un/climate-change/history-icsu-and-climate-change>.

26 De fato, o governo americano também exerceu influência para a criação do IPCC. Sob o comando republicano de Reagan, conhecido por sua oposição às regulamentações ambientais e preocupado com os rumos da agenda climática, este pressionou a WMO e a ONU para que uma comissão internacional, composta de cientistas e representantes de governos, fosse criada (Pearce, 2010; Weart, 2008).

27 É importante notar que o IPCC não realiza pesquisas e monitoramento do clima, mas apenas acessa e avalia os resultados das publicações especializadas na área <http://www.ipcc.ch/organization/organization.shtml>. Os relatórios do IPCC possuem três grupos de trabalho: Working Group I: The Physical Science Basis; Working Group II: Impacts, Adaptation and Vulnerability; Working Group III: Mitigation of Climate Change. O primeiro grupo de trabalho está estritamente voltado para ciência básica das mudanças climáticas e não considera os aspectos políticos da questão. No quinto relatório (AR5 – 2013) o “Working Group I” contou com a participação de um amplo corpo de cientistas. Entre estes, 209 são autores principais (*lead authors*) e 50 autores editores revisores (review Editors) de 39 países e 600 autores contribuidores (*contributing authors*) de 32 países <http://www.climatechange2013.org/contributors/>. Para mais informações sobre os relatórios do IPCC e, inclusive, a relação entre ciência e política nos relatórios veja-se <https://www.ucsusa.org/global-warming/science-and-impacts/science/ipcc-background.html#bf-toc-4>.

Os primeiros dois relatórios do IPCC (1990, 1995) reafirmaram a existência do efeito estufa natural, o aumento das concentrações de gases estufa na atmosfera e um esperado aumento do efeito estufa em face do aumento das concentrações de gases estufa. Contudo, foi apenas no terceiro relatório, de 2001, que encontramos uma posição mais afirmativa sobre a influência humana no clima²⁸: “Existe nova e mais forte evidência de que a maior parte do aquecimento observado ao longo dos últimos 50 anos seja atribuível às atividades humanas” (IPCC, 2001, p. 10)²⁹. De acordo com o relatório, o aquecimento observado a partir da segunda metade do século XX não poderia ser explicado pelas forças naturais como a variação na radiação solar e as emissões vulcânicas³⁰.

Nos relatórios seguintes do IPCC (2007, 2013), os níveis de confiança na atribuição da influência humana no clima global aumentaram cada vez mais. Assim, no sumário para políticas públicas do quinto relatório do Grupo de Trabalho I de 2013 podemos ler: “A influência humana no sistema climático é clara. Isto é evidente a partir do aumento gradativo das concentrações de gases estufa na atmosfera, da forte radioativa positiva, do aquecimento observado, e da compreensão do sistema climático” (IPCC, 2013, p. 15).

O consenso científico sobre a base física do aquecimento global antropogênico

Como destacado na introdução deste artigo, para um tratamento pedagógico adequado da temática do aquecimento global é importante separar os aspectos consensuais dos aspectos controversos da temática, especialmente aqueles aspectos consensuais da perspectiva científica. O filósofo da ciência Philip Kitcher (2010) destaca a utilidade de diferenciar entre três tipos de controvérsias relacionadas a três questões distintas, a saber: (1) a questão da causa antropogênica das mudanças climáticas (em especial, o aquecimento global devido às emissões antropogênicas de gases de efeito estufa); (2) a questão relativa à velocidade com que o aquecimento ocorrerá e as suas consequências para seres humanos e outras espécies; (3) a questão relativa ao que deve ser feito para estabilizar o aquecimento e limitar suas consequências indesejadas.

Como observa Kitcher (2010), estudiosos das controvérsias científicas, desde o trabalho pioneiro de Thomas Kuhn (1962), nos ensinam o quão complexo e difícil pode ser a interpretação de dados e teorias científicas, tornando os campos científicos de vanguarda praticamente inacessíveis para avaliação do leigo. Neste sentido, cabe

28 No segundo relatório de 1995, os autores limitaram apenas a conclusão à “o balanço da evidência sugere uma discernível influência humana no clima global” (IPCC, 1996, p.4).

29 Neste relatório, os autores empregam o termo “provável” (*likely*) para se referir a um nível de confiança entre 66 à 90% no que diz respeito à influência antropogênica no aquecimento do clima observado.

30 Segundo Spencer Weart, na virada do século XX para XXI, os diversos grupos rivais que desenvolviam modelos climáticos para previsão do clima passaram a exibir uma crescente concordância em suas previsões. Nenhum modelo que fosse capaz de simular o clima da Terra, falhava em prever um aquecimento do clima quando as concentrações de gases estufa eram aumentadas. Ou seja, o CO₂ e outros gases estufa eram agora reconhecidamente parte da explicação para o aumento da temperatura observado durante o século XX. Veja a seção “The computer models vindicated (1990s–2000s)” <https://history.aip.org/climate/co2.htm#S3>.

observar que as duas primeiras questões são questões internas das ciências naturais, ou seja, são as especialidades científicas que têm a competência para respondê-las (Kitcher, 2010). Com isso podemos dizer que é no contexto das questões 1 e 2 que cabe a pergunta sobre a existência ou não de uma controvérsia científica. Como argumentamos até o final deste artigo, a questão 1, entendida como uma pergunta sobre a causa predominante do aquecimento global (se natural ou antropogênico), já possui um amplo consenso científico estabelecido em torno da causa antropogênica do aquecimento global. Por outro lado, a questão 2, que envolve a previsão do clima a longo prazo, envolve muito mais incertezas, de modo que ainda existe margem para debates e desacordos entre cientistas sobre os efeitos mais precisos resultantes de um aquecimento do clima a longo prazo³¹.

Por sua vez, a terceira questão claramente transcende o campo das ciências naturais, pois envolve outras áreas do conhecimento como a economia, relações internacionais, política, sociologia, ética, etc. (Hulme, 2009). Assim, a questão 3 nos remete a uma controvérsia muito mais ampla, que transcende o âmbito puramente científico, e cuja solução requer um debate com a sociedade como um todo, para além da comunidade científica. No nosso entendimento, são justamente as implicações sociais, econômicas, éticas, políticas, etc., do fenômeno do aquecimento global e seus potenciais impactos que são o foco da questão 3 e que tornam o tema uma controvérsia sociocientífica ainda em curso e de tão difícil solução.

Ao defender esta perspectiva, não estamos assumindo que a ciência possa ser separada do contexto social. Pelo contrário, reconhecemos que ela é inseparável do contexto social, político, econômico e histórico em que é feita. Contudo, concordamos com Kitcher (2010) quando observa que a democracia genuína requer uma divisão do trabalho cognitivo, tendo os cientistas (que possuem a formação necessária para a interpretação dos dados e teorias) a função de fornecer a melhor resposta possível às questões 1 e 2, para que o cidadão e a sociedade mais ampla possam tomar uma decisão informada equacionando os aspectos científicos, sociais, econômicos, éticos etc. relacionados a questão 3.

Uma vez feitas estas considerações, passamos agora a detalhar um pouco mais as razões que nos levam a reconhecer que existe um consenso científico legítimo, formado por um processo de crítica intersubjetiva, no que concerne à questão 1, ou seja, um consenso científico sobre aquecimento global antropogênico. Como visto anteriormente, a história da investigação científica acerca desta questão nos reporta a mais de um século de pesquisas, envolvendo inúmeros cientistas de distintas áreas e culminando atualmente num esforço colaborativo de cientistas e centros de pesquisa do mundo inteiro. De modo especial, vimos que a base física do aquecimento global antropogênico é fruto de um longo debate na comunidade científica. O seu desenvolvimento envolveu

31 Um exemplo desse tipo de debate ainda em curso diz respeito aos efeitos do aquecimento para a região Antártica. Qual a velocidade com que a Antártica irá perder gelo? Por exemplo, são questões ainda debatidas pelos cientistas <http://www.nature.com/news/gains-in-antarctic-ice-might-offset-losses-1.18486>.

amplos períodos de controvérsia ao longo do século XX, períodos em que muitos ou até a maioria de cientistas rejeitavam a possibilidade de influência do ser humano no clima.

Como visto, entre 1900 e 1940, a teoria do dióxido de carbono das mudanças climáticas de Arrhenius foi amplamente rejeitada e abandonada pela grande maioria dos cientistas da época. Tal rejeição se deu com base nas evidências espectroscópicas de Angstrom, bem como, nos argumentos de que os oceanos absorveriam o excesso de CO₂ adicionado à atmosfera. Contudo, à medida em que as pesquisas avançaram, com dados espectroscópicos mais precisos, trabalhos sobre a interação oceano-atmosfera e medidas da concentração de CO₂ mais precisas, tais argumentos foram sendo gradualmente refutados.

Ao mesmo tempo, o reavivamento da teoria do dióxido de carbono das mudanças climáticas feito por Gilbert Plass, Roger Revelle e outros, não recebeu adesão imediata. Durante as décadas de 1960 e 1970, a controvérsia entre resfriamento e aquecimento global demonstra a divisão da comunidade científica. Foram novamente necessários vários anos de debates, desenvolvimentos teóricos, experimentais e observacionais para que os cientistas pudessem decidir entre aquecimento e resfriamento global. Durante a década de 1980, tais desenvolvimentos permitiram uma melhor compreensão do sistema climático e suas forçantes como o Sol, os aerossóis (de vulcões e emissões humanas) e a forçante orbital, o que levou a um gradual abandono das previsões de resfriamento global. Por sua vez, a teoria do dióxido de carbono cresceu cada vez mais em consistência teórica e empírica, o que levou os cientistas, inclusive aqueles que inicialmente especulavam sobre o resfriamento global como Stephen Schneider, a se convencerem que a forçante do CO₂ conduziria a um aquecimento do planeta.

De fato, no que tange às diferentes forçantes naturais, medidas de satélites da irradiância solar, disponíveis a partir de 1980, têm indicado que a *Irradiância Solar Total* (TSI) tem mantido valores aproximadamente constantes, em torno de 1361 W/m² (Lockwood, 2010)³². O bem conhecido ciclo solar de 11 em 11 anos, equivale a uma pequena variação de cerca de 1,37 W/m² entre um máximo e um mínimo solar. Como discutido por Lockwood (2010), esse valor de 1,37 w/m² corresponde a uma forçante radiativa na Terra de apenas 0,24 W/m², o que corresponde apenas a 5% do valor necessário (cerca de 5 W/m²) para explicar o aumento da temperatura média de 0,8 graus Celsius, registrado desde o período pré-industrial. Ou seja, nenhum aumento na radiação solar tem sido observado que pudesse explicar o aquecimento observado a partir de 1980³³. Ao mesmo tempo, a partir de trabalhos que avaliaram os efeitos de erupções vulcânicas como a do monte Pinatubo, passou-se a compreender que a forçante dos vulcões é uma forçante de resfriamento da troposfera, uma vez que as imensas quantidades de material particulado (aerossóis), emitido pelos vulcões, refletem a luz

32 Veja também <https://www.giss.nasa.gov/research/news/20120130b/>.

33 Veja também Spencer Weart “Changing sun, changing climate? Em especial a seção “The sun vs. Greenhouse gases (2000s)” <https://history.aip.org/climate/solar.htm#S5>.

solar incidente³⁴. Finalmente os ciclos de Milankovitch também não podem explicar o aquecimento observado uma vez que, de acordo com a teoria orbital, nenhuma tendência de aquecimento está prevista para os próximos milhares de anos. Além disso, os ciclos de Milankovitch se aplicam apenas a variações com escala de tempo de milhares de anos, de modo que não são aplicáveis a variações climáticas de alta frequência, com períodos de décadas (Berger, & Loutre, 2002; Peterson, Connolley, & Fleck, 2008)³⁵.

A transição a partir da publicação dos primeiros trabalhos de Callendar (1938) até os relatórios do IPCC envolveu um avanço científico extraordinário na compreensão do clima global. Os avanços na espectroscopia molecular elucidaram as propriedades das moléculas na absorção da radiação (Banwell, 1972). O advento dos computadores permitiu o desenvolvimento de modelos numéricos de transferência de radiação infravermelha na atmosfera, estabelecendo as bases para compreensão dos mecanismos de regulação da temperatura planetária (Pierrehumbert, 2011). Muito antes da possibilidade de detecção do aquecimento global antropogênico (IPCC, 2001), a base física do efeito estufa já permitia prever de forma consistente que um aumento na concentração de CO₂ iria produzir um aquecimento do sistema climático.

Atualmente, os detalhes do mecanismo do efeito estufa são tratados e explicados em inúmeros livros de física atmosférica, atmosferas planetárias, radiação atmosférica e física do clima (Barry, & Chorley, 2013; Christopherson, 2012; Goody, & Walker, 1996; Lissauer, & Pater, 2013; Taylor, 2005). Sabemos atualmente que o efeito estufa é um fenômeno essencial para vida na Terra e que sem a presença de gases estufa como o CO₂ e o vapor d'água, a Terra teria temperaturas médias por volta de congelantes -18°C, cerca de 33 graus abaixo dos observados 15°C. Em outras palavras, a temperatura planetária é influenciada pela composição química da atmosfera, em especial, a concentração de gases de efeito estufa. Sabemos também que desde o período industrial a concentração de gases estufa tem aumentado gradativamente. Logo, é de se esperar que esse aumento da concentração de gases estufa, como o CO₂, resulte em algum aquecimento do planeta³⁶.

Contudo, como assinalado anteriormente, foi somente no terceiro relatório do IPCC (2001) que a comunidade científica passou a considerar que a evidência era

34 Veja Weart "Aerosols: volcanoes, dust, clouds and climate" e, em especial, a seção "Calculating aerosol effects (1990s-)" <https://history.aip.org/climate/aerosol.htm>.

35 É importante notar que, para avaliar o estado do clima do planeta, cientistas tomam em consideração todas as possíveis forçantes climáticas (naturais e antropogênicas). Sobre a contribuição de cada forçante climática pode-se acessar a simulação baseada em um modelo da NASA <https://www.bloomberg.com/graphics/2015-whats-warming-the-world/>.

36 Para uma apresentação sucinta e didática da ciência do aquecimento global pode-se consultar diversos materiais produzidos por organizações científicas e centros de pesquisa. Por exemplo, o site da Nasa <https://climate.nasa.gov/> é uma excelente fonte de consulta para se informar sobre a questão. A *American Chemical Society* documenta de forma bastante didática a ciência básica do clima <https://www.acs.org/content/acs/en/climate-science.html>. No Brasil, o INPE também tem produzido alguns materiais educacionais na forma de vídeos e cartilhas <http://videoseducacionais.cptec.inpe.br/>. Um material bastante ilustrativo que possui versão em espanhol é <http://nas-sites.org/americanclimatechoices/more-resources-on-climate-change/climate-change-lines-of-evidence-booklet/>. Por fim, um site que vale mencionar é o do físico John Cook <https://www.skepticalscience.com/> que se dedica a esclarecer muitos dos mitos e desinformações sobre aquecimento global circulantes na internet.

forte o suficiente para dar suporte à conclusão de que a influência antropogênica no clima era detectável (IPCC, 2001, p.10). De uma perspectiva histórica, tal conclusão foi conservadora e, de modo algum, apressada. Como diversos trabalhos têm demonstrado, a essa altura a controvérsia científica estava encerrada (Oreskes, 2004; Shed, & Bearman, 2010). Os relatórios que se seguiram (IPCC, 2007, 2013) passaram a atestar com probabilidade cada vez maior a influência humana no clima.

Este consenso expresso nos relatórios do IPCC tem sido repetidamente confirmado e atestado por inúmeros órgãos científicos internacionais envolvendo centros de pesquisa, organizações científicas e academias científicas. Organizações meteorológicas como a Organização Meteorológica Mundial e a *American Meteorological Society* têm posições claras e concordantes com o IPCC a respeito³⁷. Academias científicas de diversos países como Brasil, EUA, Reino Unido, Alemanha, China, Canadá, Índia, Japão, Itália, México, entre outras, têm emitido desde 2001 declarações (*Joint Science Academies' Statment: global response to climate change*³⁸) confirmando as conclusões do IPCC. Ao mesmo tempo, uniões científicas membros da ICSU como a União Internacional de Geodésia e Geofísica³⁹, a *American Geophysical Union*⁴⁰ e associações científicas como a *American Association for the Advancement of Science*⁴¹ (2006), *American Physical Society*⁴², a *American Chemical Society*⁴³, para citar apenas algumas, confirmam igualmente as conclusões do IPCC. Por fim, vale mencionar que instituições de pesquisa de renome como a NASA, NOAA, *Max Planck Institute* na Alemanha, *Climate Research Unit* (Reino Unido), Agência Meteorológica Japonesa e o INPE no Brasil expressam a mesma posição⁴⁴.

Aliados a essas declarações de instituições científicas, trabalhos de revisão da literatura têm analisado o nível de consenso científico no que concerne à existência de um aquecimento global antropogênico. De modo geral, a conclusão desses trabalhos é a de que 97% dos cientistas que publicam ativamente em revistas especializadas,

37 Veja <https://public.wmo.int/en/our-mandate/climate> e <https://www.ametsoc.org/ams/index.cfm/about-ams/ams-statements/statements-of-the-ams-in-force/climate-change/>.

38 De fato, nenhuma academia científica no mundo rejeita as conclusões do IPCC. Veja, por exemplo, as declarações de academias de 2001 <http://www.nationalacademies.org/onpi/06072005.pdf> e 2009 <http://www.nationalacademies.org/includes/G8+5energy-climate09.pdf>, assim como um editorial da *Science* <http://science.sciencemag.org/content/292/5520/1261>.

39 Uma União Científica com mais de 100 países associados cuja missão é promover e comunicar o conhecimento sobre o sistema terrestre e seu contorno próximo <http://iugg.org/>. A declaração sobre o acordo de Paris encontra-se em http://iugg.org/resolutions/IUGGstatement_ParisAgreement_USA_12Jun2017.pdf.

40 Veja <https://news.agu.org/press-release/american-geophysical-union-releases-revised-position-statement-on-climate-change/>.

41 Esta é uma das grandes associações científicas do mundo, com mais de 20 mil membros: https://www.aaas.org/sites/default/files/migrate/uploads/aaas_climate_statement1.pdf.

42 Veja http://www.aps.org/policy/statements/07_1.cfm.

43 Veja <https://www.acs.org/content/acs/en/policy/publicpolicies/sustainability/globalclimatechange.html>.

44 Veja: Nasa <https://climate.nasa.gov/>; Inpe <http://mudancasclimaticas.cptec.inpe.br/>; Max Planck Institute for Meteorology <https://www.mpimet.mpg.de/en/communication/climate-faq/>; Agência Meteorológica Japonesa http://www.jma.go.jp/jma/en/NMHS/indexe_ccmr.html e Climate Research Unit <http://www.cru.uea.ac.uk/>.

dedicadas ao estudo do clima, concordam sobre a existência de um aquecimento global antropogênico (Oreskes, 2004, Anderegg, et al., 2010; Doran, & Zimmerman, 2009; Cook, et al., 2013).

Cientistas também têm se posicionado por meio de declarações com abaixo assinados. Em setembro de 2016, foi publicada uma carta (<http://responsiblescientists.org/>) alertando para os riscos das mudanças climáticas com a assinatura de 378 cientistas membros da *National Academy of Sciences* dos quais 30 cientistas eram ganhadores de prêmios Nobel. Entre os cientistas que assinaram a carta há nomes conhecidos como James Hansen, Paul Crutzen, Mario Molina e físicos como Stephen Hawking, Alex Filippenko e Kip Thorne. Também merece menção o recente artigo no qual 15.000 cientistas de 184 países emitem um alerta sobre as ameaças dos principais problemas ambientais que vêm se agravando, inclusive as mudanças climáticas (Ripple, et al., 2017).

A contestação do consenso e controvérsias científicas fabricadas

Se por um lado existe um consenso entre os cientistas especialistas na área, o mesmo não ocorre entre o grande público. Diversos estudos têm revelado que boa parte do público leigo não acredita em aquecimento global antropogênico, ou não considera que exista consenso científico a respeito dessa matéria⁴⁵. A pergunta que podemos nos fazer é: quais são as razões dessa lacuna entre a opinião dos cientistas e a opinião do público em geral? No que se segue, apresentamos algumas razões, discutidas na literatura, e que nos ajudam a compreender este cenário.

Em primeiro lugar, podemos citar a falta de uma compreensão científica e epistemológica mais adequada da ciência do aquecimento global. Diversas pesquisas têm indicado que boa parte do público (incluindo estudantes e até mesmo professores de ciências) possui uma compreensão superficial da ciência básica que explica o aquecimento global, em especial, o mecanismo do efeito estufa natural e a sua intensificação resultante das emissões humanas de gases estufa (Lambert, Lindgren, & Bleicher, 2012; Lombardi, & Sinatra, 2012; Niebert, & Gropengiesser, 2014; Ratinen, 2013)⁴⁶. Ao mesmo tempo, ainda é comum entre boa parte da sociedade uma visão de ciência como sinônimo de conhecimento provado, certo e infalível. Por sua vez, campos complexos como a ciência do clima, como a maioria dos campos científicos de vanguarda, envolvem inúmeras incertezas e cientistas falam frequentemente em termos do que é provável e razoável em face da evidência disponível. Neste sentido, é plenamente razoável que a falta de entendimento da ciência básica do efeito estufa e uma visão epistemológica ingênua da ciência possam contribuir para o não reconhecimento da legitimidade da ciência do

45 No contexto americano, cerca de 50% do público não acredita em aquecimento global antropogênico (Leiserowitz, 2010).

46 Um erro conceitual comum entre o público leigo é a falha em distinguir adequadamente entre “tempo meteorológico” e “clima”. Tempo meteorológico é a condição de curto prazo (dia a dia) da atmosfera, por sua vez, o clima é a média a longo prazo (períodos de décadas) do tempo meteorológico (Christopherson, 2012, p.206). A falha em fazer tal distinção leva o leigo a inferir erroneamente conclusões sobre o clima a partir de eventos meteorológicos locais (Lambert, Lindgren, & Bleicher, 2012, p.1179).

aquecimento global por parte do público em geral.

Some-se a isso o fato de que existe muita informação distorcida disponível, especialmente na internet, o que torna ainda mais complexa a possibilidade de o público em geral formar um veredito razoável sobre o tema. De fato, apesar do IPCC ser reconhecido pela Organização Meteorológica Mundial (WMO) como sendo a principal autoridade científica internacional no que diz respeito à avaliação climática, é comum nos depararmos na internet com alegações de que o IPCC teria uma agenda política e ideológica que o levaria a manipular dados e forjar um consenso em prol do aquecimento global antropogênico⁴⁷. Assim, o leigo que desconhece a história da ciência do clima pode ser facilmente induzido a um estado de confusão e incerteza quanto à confiabilidade do IPCC e da própria ciência climática. Por outro lado, o leitor que conhece a história da ciência do clima sabe que o aquecimento global antropogênico não é uma ideologia, uma farsa ou uma invenção recente, mas sim, o resultado de uma evolução científica de mais de um século de pesquisas e debates envolvendo o trabalho árduo de milhares de cientistas⁴⁸.

Uma terceira razão é a de que é comum encontrarmos cientistas individuais que afirmam teses contrárias às do IPCC e que se consideram “céticos” quanto ao aquecimento global antropogênico. Em muitos contextos estes cientistas têm recebido considerável atenção por parte da mídia. Assim, para o público em geral, é gerada uma ideia de divisão na comunidade científica (Boykoff, & Boykoff, 2004; Weart, 2008). De fato, não é tarefa fácil avaliar o impacto epistêmico do desacordo de um cientista. Dependendo do nível de especialidade científica, torna-se praticamente impossível ao não especialista formar algum juízo acerca de determinado argumento exposto pelo cientista. Contudo, em muitos casos, algum nível de conhecimento científico (física básica do efeito estufa) e conhecimento histórico e epistemológico podem ser de grande ajuda para avaliar as asserções de determinado cientista.

Como vimos na seção sobre controvérsia científica, é um fato histórico o de que sempre existem remanescentes que continuam a discordar mesmo que a ampla maioria da comunidade científica considere que determinada controvérsia se encerrou. Contudo, é preciso lembrar que uma controvérsia científica é uma atividade comunitária e que é a comunidade científica mais ampla, que considerou todas as perspectivas, argumentos e linhas de evidência, que nos fornece o melhor veredito. Cientistas individuais estão sujeitos a vieses e podem pesar a evidência de acordo com seu nicho teórico ou visão de mundo. Além disso, quando falam ao grande público, cientistas individuais podem se

47 Um desses boatos gira em torno do episódio *climategate* ocorrido em 2009 e que envolveu o vazamento de e-mails do Climate Research Unit da Universidade de East Anglia na Inglaterra. Contudo, diversos trabalhos que se dedicaram a analisar o caso concluíram que nenhuma fraude por parte dos cientistas havia ocorrido (House of Commons Science and Technology Committee, 2010; Muir Russel, 2010; Oxburg, 2010; Pearce, 2010). O que ficou dessa história foram recomendações para que os cientistas adotassem medidas de transparência disponibilizando todos os dados publicamente. Desde então essas medidas vem sendo tomadas.

48 É claro que, para que o leitor possa ter uma dimensão mais exata da evolução histórica da ciência climática, o breve relato apresentado acima deve ser complementado consultando as fontes históricas citadas no texto.

sentir à vontade para fazer juízos que não estariam dispostos a defender diante de seus pares especialistas.

No contexto do aquecimento global antropogênico, é comum encontrarmos cientistas individuais defendendo, diante do público leigo, argumentos que historicamente já foram superados pela ciência. Assim, por exemplo, ainda hoje encontrarmos alegações como a de que o aquecimento global é causado pelo Sol, ou pelos vulcões, ou pelos ciclos orbitais de Milankowitch, quando já é amplamente estabelecido, como vimos anteriormente, que estes fatores naturais não são capazes de explicar o aquecimento observado nas últimas quatro décadas. Ainda há aqueles que defendem que não há aquecimento, mas resfriamento global, tentando retomar o debate já superado das décadas de 1960 e 1970. Ou, de forma ainda mais extravagante, para não dizer pseudocientífica, há aqueles que pretendem negar a própria existência do efeito estufa, defendendo, por exemplo, que o CO₂ não é um gás estufa⁴⁹.

Como devemos pesar o desacordo de um cientista individual que faz tais alegações? Retomando nossa reflexão epistemológica anterior, vimos que a epistemologia do desacordo nos ensina que não é qualquer caso de desacordo que é capaz de gerar uma controvérsia científica. Um cientista que negasse atualmente a mobilidade dos continentes não geraria uma controvérsia sobre deriva continental, pois esta é uma questão que a comunidade científica debateu abertamente no passado, mas que há pelo menos quatro décadas é considerada encerrada (Frankel, 1987). Da mesma forma, desacordos com base nos argumentos acima não são capazes de gerar ou manter uma controvérsia científica sobre aquecimento global antropogênico. Como a discussão histórica anterior deixou evidente, tais alegações são repetições de questões antigas já superadas, sobre as quais a comunidade científica já se debruçou exaustivamente no passado⁵⁰.

Por fim, é importante lembrar que cientistas individuais também possuem agendas e interesses que não devemos subestimar, especialmente no contexto da temática do aquecimento global. É um fato bem conhecido e documentado por historiadores, sociólogos e jornalistas o de que diversos cientistas que se dizem “céticos” quanto ao aquecimento global antropogênico, são cientistas que possuem ligações (ideológicas) com determinados grupos, como a indústria dos combustíveis fósseis, sendo, inclusive, financiados para defender seus interesses (Jacques, Dunlap, & Freeman, 2008; McCright, & Dunlap, 2010; Oreskes, & Conway 2010)⁵¹.

49 Para uma lista completa desse tipo de argumento já superado pela ciência pode-se consultar o site <https://www.skepticalscience.com/>.

50 Isso não significa que uma questão que atualmente é considerada como resolvida não possa ser reaberta no futuro caso nova evidência assim o indique. Contudo, se determinados cientistas fazem uma alegação diversa daquela da comunidade científica mais ampla, o ônus da prova é justamente desses cientistas particulares que devem apresentar a evidência relevante para suas alegações. Apenas emitir uma opinião não conta como ciência. Ou seja, para haver conhecimento uma opinião deve vir acompanhada de evidências e razões (Steup, 1996).

51 Recentemente a *Union of Concerned Scientists* com sede na Universidade da Califórnia publicou *The Climate Deception Dossiers* (Mulvey, & Shulman, 2015) onde é apresentada uma lista de dossiês que demonstram a ação da indústria de petróleo no financiamento de cientistas céticos para obscurecer o debate público.

De fato, este aspecto nos remete ao que, possivelmente, seja a principal razão para a percepção de controvérsia científica entre o público em geral, a saber, a existência de uma campanha de desinformação promovida por grupos que possuem interesses diretos na questão (como a indústria do petróleo) e que visam perpetuar o que diferentes autores têm denominado de “controvérsias científicas fabricadas” (ou controvérsias científicas artificiais) com o objetivo de retardar políticas públicas que viessem a regulamentar as emissões de carbono (Ceccarelli, 2011; Ehrlich, & Ehrlich, 1998; Harker, 2015; Latour, 2004; McCright, & Dunlap, 2010; Oreskes, & Conway, 2010).

Antes de continuarmos a discussão, julgamos relevante definir o que são controvérsias científicas fabricadas. Ceccarelli (2011) propõe que uma controvérsia científica é “fabricada” na esfera pública [...]“quando um argumentador anuncia que há um debate científico em curso na esfera técnica sobre uma questão para a qual há na realidade um consenso científico esmagador” (Ceccarelli, 2011, p. 196). Assim, uma controvérsia científica fabricada ocorre porque há uma falha de comunicação entre a ciência e o público em geral, sendo que tal falha é gerada por ações deliberadas de distorção de informações. Diversos historiadores, filósofos, sociólogos e estudiosos da retórica têm se dedicado a analisar as principais táticas empregadas para fabricar controvérsias científicas na esfera pública (Ceccarelli, 2011; Ehrlich, & Ehrlich, 1998; Harker, 2015; Oreskes, & Conway, 2010).

Uma dessas táticas é a estratégia da promoção da dúvida (*doubt is our product*) explorando incertezas através do recrutamento de “especialistas” que muitas vezes fazem uso da seleção parcial de dados e resultados de publicações. Em sua essência, tal estratégia visa injetar dúvida na percepção que o público tem da ciência. O que importa é que o público passe a perceber que a comunidade científica está dividida a respeito do tema⁵². Esta estratégia fica evidente no famoso memorando do consultor político Frank Luntz ao Partido Republicano Americano, no qual ele recomenda as ações a serem tomadas para questionar o consenso científico⁵³.

Outra tática para fabricar uma controvérsia é explorar os valores de equidade e liberdade de expressão das instituições democráticas, como a mídia e as instituições educacionais, que respeitam o compromisso de ouvir os dois lados de um debate. Neste sentido, cientistas céticos conseguem ter um amplo espaço para manifestar suas opiniões e promover uma controvérsia científica fabricada na esfera pública. De fato, como discutido a seguir, o valor democrático de ouvir os dois lados tem feito nossas instituições democráticas (e também o público) vítimas de “especialistas” (ou pseudoespecialistas)

52 Além disso, tal estratégia explora uma visão epistemologicamente equivocada comum entre o público leigo, discutida anteriormente, isto é, de que a boa ciência é aquela que nos oferece prova e certeza. Assim, é sugerido que se a ciência não pode oferecer certeza sobre suas conclusões, então não há razões para adotar suas recomendações. Da mesma forma, se não há 100% dos cientistas em acordo, então uma controvérsia está em curso, o que reflete uma visão equivocada da epistemologia do desacordo.

53 Onde podemos ler: “[...]Vocês precisam assinalar a falta de certeza científica como uma questão primária no debate []vocês precisam ser ainda mais ativos no recrutamento de especialistas que sejam simpáticos a sua visão” (Luntz, 2002, p.137–138).

cujo único intento é promover a dúvida e a confusão na esfera pública (Boykoff, & Boykoff, 2004; Ceccarelli, 2011).

Como descrito na literatura, tais táticas de fabricação de controvérsia na esfera pública derivam em boa medida dos esforços da indústria do tabaco durante a segunda metade do século XX para questionar o consenso de que o cigarro causa câncer. De fato, *doubt is our product* é um famoso memorando atribuído a um consultor da indústria do tabaco (Harker, 2015; Oreskes, & Conway, 2010). Assim, usando da estratégia de promoção da dúvida e incerteza, as companhias de tabaco financiaram pesquisas e especialistas para questionar a ortodoxia científica e, assim, criar uma aparente controvérsia dentro da comunidade científica. Com o intuito de atrasar políticas públicas tais companhias argumentavam que mais pesquisas seriam necessárias até que se pudesse afirmar que o cigarro causa câncer. Ao mesmo tempo, aqueles cientistas que iam a público para defender que o cigarro causava câncer eram taxados de alarmistas, ao passo que o pequeno grupo de cientistas que questionava o consenso era exaltado (Harker, 2015).

Seguindo essa mesma estratégia, a indústria dos combustíveis fósseis e outros setores com interesse na questão financiaram pesquisas e cientistas individuais para questionar os relatórios do IPCC e o consenso sobre aquecimento global antropogênico. Tal campanha de contestação do aquecimento global antropogênico surgiu especialmente a partir dos primeiros relatórios científicos do IPCC. Como observam Jacques, Dunlap, e Freeman (2008) esse movimento de “ceticismo ambiental” (*environmental skepticism*) pode ser visto como um movimento de reação aos avanços com relação às questões ambientais (como legislação) durante as décadas de 1970 e 1980 e que culminaram na Eco-92 e no Protocolo de Kyoto.

Esse movimento de ceticismo ambiental visa minimizar os problemas ambientais atacando pesquisas científicas sobre diversos temas ambientais como a chuva ácida, o buraco de ozônio, o impacto de pesticidas, o aquecimento global antropogênico e inclusive a conexão entre cigarro e câncer⁵⁴ (Jacques, Dunlap, & Freeman 2008; Oreskes, & Conway, 2010). De fato, uma análise de 141 livros “céticos” (de língua inglesa) publicados entre 1972 e 2005, demonstrou que 92% dos livros possuem ligações com instituições *think tanks* que recebem financiamento da indústria fóssil (Jacques, Dunlap, & Freeman, 2008). Ademais, vale constatar que muitos dos céticos que se apresentam ao grande público como especialistas na área climática têm, na verdade, pouca ou até nenhuma expertise sobre o tema, muitas vezes sem qualquer publicação em revistas especializadas da área⁵⁵.

54 Alguns dos principais cientistas céticos americanos como Fred Seitz, Fred Singer, Patrick Michaels, Richard Lindzen, além de receberem financiamentos de grupos de interesse, são cientistas que contestam ou contestaram pesquisas científicas sobre os problemas ambientais acima descritos, inclusive a ligação entre cigarro e câncer (Oreskes, & Conway, 2010).

55 Um exemplo desse tipo é o dinamarquês Bjorn Lomborg, que escreveu o livro “Skeptical Environmentalist” (2001), amplamente citado na mídia e que visa minimizar os problemas ambientais. Contudo, Lomborg não é um especialista na área sobre a qual escreve, mas sim um cientista político. Diversos especialistas que analisaram o livro chegaram a conclusão de que o livro é repleto de erros e representações equivocadas da ciência ambiental. Veja <http://www.lomborg-errors.dk/> e <https://www.scientificamerican.com/article/skepticism-toward-the-ske/>.

Explorando os valores democráticos de mente aberta, equidade e liberdade de questionar, céticos costumam se apresentar ao grande público como defensores da razão contra o que eles chamam de dogmatismo da ortodoxia (Ceccarelli, 2011). Assim, de forma retórica, costumam referir-se ao consenso científico como sendo *junk science* e alegam que não conseguem publicar seus artigos, pois haveria uma ortodoxia dogmática em defesa do aquecimento global antropogênico. Tais estratégias têm se mostrado muito eficazes em promover a dúvida na esfera pública. De fato, na esfera pública determinados cientistas muitas vezes reagem com desprezo aos ataques dos céticos, o que reforça a percepção entre o público de que os céticos estão certos em sua acusação de que há uma ortodoxia dogmática. Ou seja, se os cientistas não querem debater com os céticos, então deve haver algo que eles não querem revelar.

É preciso notar, no entanto, como observa Ceccarelli (2011), que a aparente ausência de debate na esfera pública não significa que o debate não tenha ocorrido na esfera técnica científica. Como visto anteriormente, a história da ciência nos ensina que aquecimento global antropogênico não é uma crença dogmática que a ortodoxia adotou por razões políticas, mas sim o resultado de longos períodos de debate científico, ou seja, resultado de um processo legítimo de crítica intersubjetiva (Longino, 1990, 2002). Ao mesmo tempo, a acusação de que cientistas que discordam da visão consensual não conseguem publicar seus artigos não encontra suporte histórico. Cientistas do clima, assim como em outros casos de controvérsia científica, nem sempre concordaram sobre quais fatores são dominantes na determinação do clima do planeta. Como vimos, diversas controvérsias, como aquela ocorrida entre 1900 e 1940 ou entre resfriamento e aquecimento durante as décadas de 1960 e 1970, marcaram a pesquisa durante o século XX com a exaustiva publicação de artigos com visões conflitantes. Contudo, após mais de um século de pesquisa e trabalho árduo, argumentos e evidência suficiente foi sendo acumulada para convencer a ampla maioria da comunidade de especialistas de que aquecimento global antropogênico é uma teoria científica consistente.

É embaraçoso que aqueles que se dizem céticos e juízes imparciais façam tais alegações, quando em realidade estão defendendo interesses de determinados setores políticos e econômicos. Como diversos autores têm demonstrado, artigos de céticos que empregam o termo *junk science* para atacar as ciências ambientais, baseiam-se em julgamentos políticos e valorativos, e não em argumentos científicos (Herrick, & Jamieson, 2001; McCright, & Dunlap, 2010). Neste sentido, ao direcionar seus discursos para o grande público, céticos tentam mascarar o que é um debate sobre valores e política como sendo um debate sobre ciência⁵⁶.

De fato, neste contexto a própria palavra “cético” deixa de ser a palavra apropriada.

56 É importante observar que quando olhamos para a argumentação dos céticos vemos que estes estão mais empenhados em apontar incertezas no que diz respeito à influência humana no clima global do que em argumentar em favor de uma teoria competidora. Além disso, céticos estão em geral mais engajados com o grande público do que com a comunidade de especialistas. Em sua versão mais hostil, céticos simplesmente se detêm a atacar o consenso científico, usando adjetivos como “fake” e “junk science”, insinuando que existe uma conspiração política pró aquecimento global.

De uma perspectiva filosófica, ser cético significa cultivar uma atitude de pesquisa e mente aberta perante o mundo, não aderindo a verdades parciais⁵⁷. Negar fatos físicos básicos sem apresentar evidências legítimas para tal alegação, negar a realidade do efeito estufa ou que o CO₂ é um importante gás de efeito estufa, negar que a temperatura esteja subindo ou que um aumento da concentração de CO₂ possa ter consequências para o clima não caracteriza ceticismo. Tais posturas e discursos são mais bem classificadas como negacionistas (*deniers*). Negacionismo não diz respeito a cultivar uma atitude de pesquisa ou busca pela verdade; negacionismo diz respeito a negar uma verdade que não gostamos (Washington, & Cook, 2011)⁵⁸.

Por sua vez, o ceticismo legítimo é da própria natureza da ciência. Mesmo que cientistas individuais possam estar sujeitos aos diferentes prejuízos e vieses, a crítica no interior da comunidade científica, expressa nos processos de revisão por pares, caracteriza o que tem sido chamado de ceticismo organizado. A crítica e o ceticismo são parte do funcionamento da própria comunidade científica, na qual argumentos devem ser expostos publicamente de forma clara e precisa de modo que outros membros possam avaliar seu mérito (Longino, 1990, 2002). Ao mesmo tempo, ceticismo legítimo é aquele que nos leva a seguir o que a evidência total disponível nos informa.

Atualmente está mais do que evidente que determinados grupos empregam estratégias para obscurecer o discurso público sobre aquecimento global antropogênico. Este é um problema que nós, educadores da ciência, devemos considerar. É imperativo que possamos defender a ciência contra ataques obscuros. Contudo, tal defesa deve ser feita respeitando as normas democráticas e sem incorrer em dogmatismo ou cientificismo. Assim, consideramos que seja importante olhar para a história da ciência para entendermos que, no caso da ciência do aquecimento global antropogênico, tal defesa é apropriada. Ao mesmo tempo, devemos lembrar, como defendido por Thomas Kuhn, que a ciência é uma atividade comunitária na qual o melhor juízo e veredito é fornecido pela comunidade científica mais ampla (Machamer, Pera, & Baltas, 2000). Para o caso da ciência climática, tal comunidade científica é representada por instituições científicas como a Organização Meteorológica Mundial, o IPCC, as academias científicas, as uniões científicas e outras organizações científicas mencionadas ao longo deste trabalho, cujas posições são unânimes sobre a existência de um aquecimento global antropogênico.

De fato, devemos permanecer críticos no que diz respeito a exageros cientificistas. Contudo, como um conhecido crítico da ciência tem destacado, talvez a crítica esteja enfrentando o inimigo errado (Latour, 2004). Comentando justamente sobre os perigos

57 Historiadores da filosofia consideram que o primeiro cético tenha sido Pirro de Élis, responsável pelo surgimento da escola pirrônica do ceticismo e que encontra expressão nos escritos de Sexto Empírico. Na escola de Pirro ser cético significa cultivar uma atitude de pesquisa perante o mundo. Ao invés de aderir ou rejeitar dogmaticamente determinada alegação, Pirro recomendava a atitude de suspensão do juízo <https://plato.stanford.edu/entries/skepticism-ancient/>.

58 De fato, um caso de ceticismo legítimo foi expresso pelo físico Richard Muller que, até pouco tempo, duvidava das conclusões do IPCC. Contudo, após formar um grupo independente, conhecido como *Berkeley Earth* (<http://berkeleyearth.org/>), para avaliar a evidência de forma exaustiva, Muller e seu grupo se convenceram da realidade do aquecimento global antropogênico.

das controvérsias científicas fabricadas no contexto do aquecimento global, Latour (2004) observa “Eu mesmo dediquei algum tempo no passado tentando mostrar ‘a falta de certeza científica’ inerente a construção dos fatos”(p. 227). Mas, continua o autor, o perigo não reside tanto numa confiança excessiva nas questões de fato, mas sim na desconfiança excessiva de boas questões de fato e de extremistas perigosos que “[...] estão usando o mesmo argumento da construção social para destruir evidências conquistadas a duras penas que poderiam salvar nossas vidas”(p. 227).

Considerações Finais e Implicações para o Ensino de Ciências

Nos últimos anos, tem havido uma preocupação crescente com a inserção de questões sociocientíficas controversas na sala de aula (Kolsto, 2001; Sadler, & Murakami, 2014)⁵⁹. De modo geral essas abordagens têm manifestado uma preocupação com a observância do ideal democrático de que, em situações de disputa, deve-se fornecer igual espaço para ambos os lados de um debate. Ensinar algo como controverso é apresentá-lo como uma questão sobre a qual diferentes posições podem ser mantidas, expondo tais posições da forma mais imparcial possível (Hand, 2008). Assim, o objetivo de um ensino com estas características é explorar as diferentes visões sobre uma questão, apresentando os argumentos de cada lado, de modo que o aluno tenha elementos e possa escolher de forma racional entre as diferentes posições, mesmo que esta não seja a posição do(a) professor(a). Defendemos que esta perspectiva de ensino de ciências deve ser a desejável. Contudo, com base no que foi discutido no presente artigo, consideramos que sua aplicação requer alguns cuidados, especialmente no que diz respeito à questão sobre “quando devemos ensinar algo como sendo controverso?” (Hand, 2008), ou ainda, quando devemos ensinar algo como sendo uma controvérsia científica?

Como observa Hand (2008), a existência de disputas não é um critério adequado para decidir se algo deve ser ensinado como sendo controverso⁶⁰. Antes, o autor recomenda a adoção de um critério epistêmico (normativo) para decidir o que deve ser ensinado como controverso. De acordo com o critério epistêmico, *uma questão deve ser ensinada como controversa se visões contrárias podem ser mantidas sobre ela sem que tais visões sejam contrárias à razão* (Hand, 2008). Assim, o critério epistêmico requer que as visões em disputa sejam julgadas de acordo com as evidências e as razões que são oferecidas em seu suporte. Além disso, sempre que cada lado da disputa apresenta argumentos e evidências legítimas, professores precisam ter o cuidado de apresentar tais visões da maneira mais imparcial possível (Hand, 2008).

Consideramos que esta posição de Hand alinha-se ao que foi discutido no presente artigo. Como visto, concordamos que a temática do aquecimento global seja um tema sociocientífico controverso, mas defendemos que um ensino adequado desse

59 Veja também a produção de diversos materiais educacionais a este respeito como, por exemplo, <https://www.oxfam.org.uk/education/resources/teaching-controversial-issues>.

60 Como vimos ao longo do texto, existem atualmente diversos contextos públicos, como as redes sociais, onde é discutida a forma da Terra, com defensores da Terra plana. Contudo, claramente o fato de existirem disputas sobre a Terra plana não significa que esta seja uma questão que devemos ensinar como controversa.

tema deva observar e separar as diferentes controvérsias envolvidas. Ou seja, o ensino deve separar as questões controversas das questões não controversas da temática, de modo especial, as questões que não são cientificamente controversas. Como vimos, muitos aspectos controversos da temática ocorrem na esfera social, política, econômica e ética. Assim, consideramos correto tratar da temática do aquecimento global sob a perspectiva de uma controvérsia sociocientífica em curso no que concerne à questão 3, uma vez que, neste contexto, há amplo espaço para o desacordo racional conforme o critério epistêmico de Hand (2008).

Na esfera científica, também há aspectos controversos e espaço para o desacordo racional, especialmente no que diz respeito às previsões de longo prazo do clima (questão 2). Contudo, como tentamos argumentar no presente artigo, a ciência básica do efeito estufa e as consequências da intensificação do efeito estufa pelas emissões antropogênicas de gases estufa são conquistas científicas resultantes de um longo desenvolvimento científico durante o século XX. Deste modo, consideramos legítimo concluir que sobre a questão da causa do aquecimento global (questão 1) não cabe mais o rótulo de controvérsia científica⁶¹, havendo um amplo consenso científico sobre aquecimento global antropogênico.

De fato, em campos científicos de fronteira como a ciência do clima, torna-se muitas vezes difícil, até mesmo aos(as) professores(as) de ciências, decidir se uma disputa é uma controvérsia científica legítima (desacordo racional entre cientistas) ou uma controvérsia científica fabricada (na qual o desacordo é movido por vieses ou prejuízos individuais). Neste contexto, assumimos que as considerações históricas e epistemológicas feitas ao longo deste artigo são de grande importância e podem auxiliar professores que pretendam discutir controvérsias científicas em sala de aula.

Assim, a partir da discussão feita neste trabalho, consideramos que para tratar de temas complexos como aquecimento global precisamos, antes de mais nada, de uma análise histórica e epistemológica adequada. Concordamos que um ensino mais crítico da ciência, por meio do ensino de controvérsias, tenha muito a contribuir para a educação científica. Contudo, consideramos importante que educadores das ciências que pretendem optar pelo ensino da controvérsia em sala de aula aprofundem seus estudos de história da ciência para avaliar, de modo apropriado, o debate sobre aquecimento global. Ao mesmo tempo, é preciso prestar atenção à epistemologia da controvérsia e do desacordo, que nos ensina que no caso de uma controvérsia científica, é a comunidade científica mais ampla, que considerou todas as perspectivas, argumentos e linhas de evidência, quem está apta a fornecer o melhor veredito. Como observa Hand (2008) devemos estar cientes de que ao ensinar como controverso o que está epistemicamente resolvido e como resolvido o que é epistemicamente controverso, estamos comprometendo o objetivo educacional de promover o pensamento e a ação racional.

61 Adotando o critério epistêmico de Hand (2008), poderíamos observar que uma visão que sustenta que o efeito estufa da Terra não existe é uma visão contrária à razão, pois não leva em consideração a vasta gama de evidências disponíveis a este respeito.

Tais observações também se aplicam à área de pesquisa em Educação em Ciências, de modo que pesquisadores(as) e educadores(as) da área que discutem a inserção da controvérsia nos currículos e na sala de aula de ciências devem ficar atentos à possibilidade da existência de “controvérsias científicas fabricadas” na esfera pública e que mascararam uma controvérsia sobre política e valores como sendo uma controvérsia científica. Neste sentido, os trabalhos de autores como Ceccarelli, Harker, McCrigh, Oreskes, Kitcher e Latour são de grande importância e chamam a atenção para a necessidade de que a crítica também pode e deve ser empregada para garantir que uma visão científica coerente e historicamente legitimada seja apresentada nos currículos, ensinado nas escolas e comunicado ao grande público.

Por fim, acreditamos que a consciência ambiental é propulsora de transformação social. Desta maneira, pesquisadores(as) na área de Educação em Ciências podem se beneficiar do presente texto, no sentido de se inspirarem para criar linhas de pesquisa tanto sobre argumentação científica em diferentes áreas da ciência (explorando, por exemplo, estudos de caso históricos de temas controversos na Física, Química, Biologia etc.), quanto no sentido de participar da elaboração e analisar estratégias didáticas, teórico ou empírico-observacionais, para discutir temas atuais e de relevância social como: aquecimento global e mudanças climáticas, crise energética e sustentabilidade, uso de pesticidas na produção de alimentos, desmatamento e biodiversidade, poluição do ar, da água e do solo, entre outros temas ambientais e sociocientíficos nos quais a educação desempenha um papel central na busca por soluções.

Referências

- Aikenhead, G. S. (1985). Collective decision making in the social context of science. *Science Education*, 69(4), 443–446. <https://doi.org/10.1002/sce.3730690403>
- Anderegg, W., Prall, J., Harold, J., & Schneider, S. (2010). Expert credibility in climate change. *Proceedings Of The National Academy Of Sciences*, 107(27), 12107–12109. <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.1003187107>
- Auler, D., & Bazzo, W. (2001). Reflexões para implementação do movimento CTS no contexto educacional brasileiro. *Ciência & Educação*, 7(1), 1–13.
- Baltas, A. (2000). Classifying scientific controversies. In P. Machamer, M. Pera, & A. Baltas, *Scientific controversies: philosophical and historical perspectives* (pp. 40–49). Oxford: Oxford University Press.
- Banwell, C. (1972). *Fundamentals of molecular spectroscopy*. London: McGraw-Hill.
- Barrota, P. (2000). Scientific dialectics in action: the case of Joseph Priestley. In P. Machamer, M. Pera, & A. Baltas, *Scientific controversies: philosophical and historical perspectives* (pp. 153–176). Oxford: Oxford University Press.
- Barry, R. & Chorley, R. (2013). *Atmosfera, tempo e clima*. Porto Alegre: Bookman.

- Berger, A., & Loutre, M. F. (2002). An Exceptionally Long Interglacial Ahead? *Science*, 297(5585), 1287–1288. <http://dx.doi.org/10.1126/science.1076120>
- Boykoff, M., & Boykoff, J. (2004). Balance as bias: Global warming and the US prestige press. *Global Environmental Change*, 14(2), 125–136. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2003.10.001>
- Ceccarelli, L. (2011). Manufactured Scientific Controversy: Science, Rhetoric, and Public Debate. *Rhetoric & Public Affairs*, 14(2), 195–228. <http://dx.doi.org/10.1353/rap.2010.0222>
- Christopherson, R. (2012). *Geossistemas: Uma introdução a geografia física*. Porto Alegre: Bookman.
- Cook, J., Nuccitelli, D., Green, S. A., Richardson, M., Winkler, B., Painting, R., Way, R., Jacobs, P., & Skuce, A. (2013). Quantifying the consensus on anthropogenic global warming in the scientific literature. *Environmental Research Letters*, 8(2), 024024. <http://dx.doi.org/10.1088/1748-9326/8/2/024024>
- Doran, P., & Zimmerman, M. (2009). Examining the Scientific Consensus on Climate Change. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 90(3), 22. <http://dx.doi.org/10.1029/2009eo030002>
- Ehrlich, P. R., & Ehrlich, A. H. (1998). *Betrayal of science and reason: how anti-environmental rethoric threatens our future*. Washington: Island Press.
- Engelhard, Jr., T., & Caplan, A. (1987). *Scientific controversies: case studies in the resolution and closure of disputes in science and technology*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Feldman, R., & Warfield, T. (Eds.). (2010). *Disagreement*. New York: Oxford University Press.
- Fleming, J. (1998). *Historical Perspectives on Climate Change*. New York: Oxford University Press.
- Flôr Vieira, K. R. C., & Bazzo, W. A. (2007). Discussões acerca do aquecimento global: uma proposta CTS para abordar esse tema controverso em sala de aula. *Ciência & Ensino*, 1(número especial).
- Frankel, H. (1987). The continental drift debate. In Jr. H. T., Eengelhard, A. L., Caplan (Orgs.). *Scientific controversies: case studies in the resolution and closure of disputes in science and technology*. (pp. 203–248.). Cambridge: Cambridge University Press,
- Freudenthal, G. (2000). A rational controversy over compounding forces. In P. Machamer, M. Pera & A. Baltas, *Scientific controversies: philosophical and historical perspectives* (pp. 125–142). Oxford: Oxford University Press.
- Goody, R., & Walker, J. (1996). *Atmosferas planetárias*. São Paulo: Edgard Blucher.


- Hakli, Raul. (2011). On dialectical justification of group beliefs”. In H. B., Schmid, D. Sirtes, & M., Weber. (Orgs.). *Collective epistemology*. (pp.119–153). Frakfurt: Ontos.
- Hand, M. (2008). What should we teach as controversial? A defense of the epistemic criterion. *Educational Theory*, 58(2), 213–228. <https://doi.org/10.1111/j.1741-5446.2008.00285.x>
- Hansen, J., Johnson, D., Lacis, A., Lebedeff, S., Lee, P., Rind, D., & Russel, G. (1981). Climate impact of increasing atmospheric carbon dioxide. *Science*, 213(4511), 957–966. <https://doi.org/10.1126/science.213.4511.957>
- Harker, D. (2015). *Creating scientific controversies: uncertainty and bias in science and society*. Cambridge: Cambridge University Press.
- House of Commons Science and Technology Committee. (2010). The disclosure of climate data from the Climate Research Unit at the University of East Anglia. Recuperado de <http://www.publications.parliament.uk/pa/cm200910/cmselect/cmsctech/387/387i.pdf>.
- Hulme, M. (2009). *Why we disagree about climate change: understanding controversy, inaction and opportunity*. New York: Cambridge University Press.
- IALEI – International Alliance of Leading Education Institutes. (2009). *Climate Change and Sustainable Development: The Response from Education: A cross-national report from International Alliance of Leading Education Institutes*. Denmark: IALEI.
- IPCC. (1996). Summary for Policymakers. In *Clima change 1995: The science of climate change. Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [J. T. Houghton, L. G. Meira Filho, B. A. Callander, N. Harris, A. Kattenberg, & K. Maskell (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 588pp.
- IPCC. (2001). Summary for Policymakers. In *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [J. T. Houghton, Y. Ding, D. J. Griggs, M. Noguer, P. J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, & C. A. Johnson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 881pp.
- IPCC. (2013). Summary for Policymakers. In *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [T. F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex & P. M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Jacobi, P. R., Guerra, A. F., Sulaiman, S. N., & Nepomuceno, T. (2011). Mudanças climáticas globais: A resposta da educação. *Revista Brasileira de Educação*, 16(46), 135–148.

- Jacques, P. J., Dunlap, R. E., & Freeman, M. (2008). The organization of denial: Conservative think tanks and environmental skepticism. *Environmental Politics*, 17(3), 349–385. <https://doi.org/10.1080/09644010802055576>
- Herrick, C. N., Jamieson, D. (2001). Junk Science and Environmental Policy: Obscuring Public Debate With Misleading Discourse. *Philosophy & Public Policy Quarterly*, 21(2–3), 11–16.
- Kelly, T. (2010). Peer disagreement and higher order evidence. In R. Feldman, & T. Warfield (Orgs.). *Disagreement*. (pp.111–174). New York: Oxford University Press.
- Kitcher, P. (2010). The Climate Change Debates. *Science*, 328(5983), 1230–1234. <http://dx.doi.org/10.1126/science.1189312>
- Kolsto, S. (2001). Scientific Literacy of Citizenship: Tools for dealing with the science dimension of controversial socioscientific issues. *Science Education*, 85(3), 291–310. <https://doi.org/10.1002/sce.1011>
- Kuhn, Thomas. (1962). *A estrutura das revoluções científicas*. São Paulo: Perspectiva.
- Kuhn, Thomas. (1974). Objectivity, value judgment and theory choice. In T. Kuhn. *The essential tension: selected studies in the scientific tradition and change*. (pp. 356–367). University of Chicago Press.
- Lambert, J., Lindgren, J., & Bleicher, R. (2012). Assessing elementary science methods students' understanding about global climate change. *International Journal of Science Education*, 34(8), 1167–1187. <https://doi.org/10.1080/09500693.2011.633938>
- Latour, B. (2004). Why has critique run out of steam? From matters of fact to matters of concern. *Critical Inquiry*, 30(2), 225–248. <http://www.jstor.org/stable/10.1086/421123>
- Leiserowitz, A., & Smith, N. (2010). *Knowledge of Climate Change Across Global Warming's Six Americas*. Yale University. New Haven, CT: Yale Project on Climate Change Communication. Recuperado de http://environment.yale.edu/climate-communication-OFF/files/Knowledge_Across_Six_Americas.pdf.
- Lissauer, J., & Pater, I. (2013). *Fundamental planetary science: physics, chemistry and habitability*. New York: Cambridge University Press.
- Lockwood, M. (2010). Solar change and climate: an update in the light of the current exceptional solar minimum. *Proceedings Of The Royal Society A: Mathematical, Physical And Engineering Sciences*, 466(2114), 303–329. <http://dx.doi.org/10.1098/rspa.2009.0519>
- Lombardi, D., & Sinatra, G. (2012). College Students' perceptions about the plausibility of human induced climate change. *Research in Science Education*, 42(2), 201–217.
- Longino, H. (1990). *Science as social knowledge*. New Jersey: Princeton University Press.
- Longino, H. (2002). *The fate of knowledge*. New Jersey: Princeton University Press, 2002.


- Lugg, A. (1978). Disagreement in science. *Journal for General Philosophy of Science*, 9(2), 276–292. <http://www.jstor.org/stable/25170474>
- Luntz, F. (2002). The environment: a cleaner, safer, healthier America. Recuperado de http://www.sindark.com/NonBlog/Articles/LuntzResearch_environment.pdf.
- Machamer, P., Pera, M., & Baltas, A. (2000). *Scientific controversies: philosophical and historical perspectives*. Oxford: Oxford University Press.
- Mcmullin, E. (1987). Scientific controversies and its termination. In Jr. H. T. Eengelhard, A. L. Caplan (Orgs.). *Scientific controversies: case studies in the resolution and closure of disputes in science and technology*. (pp. 49–91). Cambridge: Cambridge University Press,
- McMullin, E. (1982). Values in Science. *PSA: Proceedings Of The Biennial Meeting Of The Philosophy Of Science Association*, 1982(2), 3–28. <http://www.jstor.org/stable/192409>
- McCright, A., & Dunlap, R. (2010). Anti-reflexivity: The American conservative movement's success in undermining climate science and policy. *Theory Culture Society*, 27(2–3), 100–133. <http://doi.org/10.1177/0263276409356001>
- Muir Russel, A. (2010). *The Independent Climate Change E-mails Review*. Recuperado de <http://www.cce-review.org/pdf/FINAL%20REPORT.pdf>.
- Mulvey, K., & Shulman, S. (2015). *The Climate Deception Dossiers: internal fossil fuel industry memos reveal decades of corporate disinformation*. Union of Concerned Scientist. Recuperado de <https://www.ucsusa.org/sites/default/files/attach/2015/07/The-Climate-Deception-Dossiers.pdf>.
- Niebert, K., & Gropengiesser, H. (2014). Understanding the greenhouse effect by embodiment – Analysing and using students' and scientists' conceptual resources. *International Journal of Science Education*, 36 (2), 277–303. <https://doi.org/10.1080/09500693.2013.763298>
- Oreskes, N. (2004). Beyond the ivory tower: The Scientific Consensus on Climate Change. *Science*, 306(5702), 1686–1686. <http://dx.doi.org/10.1126/science.1103618>
- Oreskes, N., & Conway, E. (2010). *Merchants of doubt: how a handful of scientists obscured the truth on to issues from tobacco smoke global warming*. New York: Bloomsbury Press.
- Oxburgh, R. (Lord). *Science Assessment Panel*. (2010). Recuperado de <http://www.uea.ac.uk/mac/comm/media/press/CRUstatements/SAP>
- Pearce, F. (2010). *The climate files*. London: Guardian Books.
- Peterson, T., Connolley, W., & Fleck, J. (2008). The Myth of the 1970s Global Cooling Scientific Consensus. *Bulletin Of The American Meteorological Society*, 89(9), 1325–1337. <http://dx.doi.org/10.1175/2008bams2370.1>

- Pierrehumbert, R. (2011). Infrared radiation and planetary temperature. *Physics Today*, 64(1), 33–38. <https://doi.org/10.1063/1.3541943>
- Pina, A., Silva, L. F., & Oliveira Júnior, Z. T. (2010). Mudanças climáticas: reflexões para subsidiar esta discussão em aulas de física. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 27(3), 449–472.
- Plass, G. (1956). Effect of Carbon Dioxide Variations on Climate. *American Journal Of Physics*, 24(5), 376–387. <https://doi.org/10.1119/1.1934233>
- Ratinen, I. J. (2013). Primary student-teachers' conceptual understanding of the greenhouse effect: a mixed method study. *International Journal of Science Education*, 35(6), 929–955. <https://doi.org/10.1080/09500693.2011.587845>
- Ribeiro, R. A., & Kawamura, M. R. (2014). Educação ambiental e temas controversos. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 14(2), 159–169.
- Ripple, W. J., Wolf, C., Newsome, T. M., Galetti, M., Alamgir, M., Crist, E., Mahmoud, M., & Laurance, W. (2017). World Scientists' Warning to Humanity: A Second Notice. *Bioscience*. 67(12), 1026–1028. <https://doi.org/10.1093/biosci/bix125>
- Sadler, T. (2004). Informal reasoning regarding socioscientific issues: a critical review of research. *Journal of Research in Science Teaching*. 41(5), 513–536. <https://doi.org/10.1002/tea.20009>
- Sadler, T., & Murakami, C. (2014). Socio-scientific issues based teaching and learning: hydrofracturing as an illustrative context of a framework for implementation and research. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 14(2), 331–342.
- Shed e Bearman. (2010). The temporal Strcuture of Scientific Consensus Formation. *American Sociological Review*. 75(6). 817–840. <https://doi.org/10.1177/0003122410388488>
- Steup, M. (1996). *An introduction to contemporary epistemology*. New Jersey: Printice Hall.
- Solomon, M. (2001). *Social empiricism*. Massachusetts: The MIT Press.
- Taylor, F. W. (2005). *Elementary climate physics*. Oxford: Oxford University Press.
- Washington, H., & Cook, J. (2011). *Climate change denial: heads in the sand*. New York: Taylor & Francis.
- Weart, S. (2008). *The discovery of global warming*. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press.
- Weart, S. (2003–2017). *The Discovery of Global Warming - A History*. History.aip.org. Recuperado de <https://history.aip.org/climate/index.htm>.
- World Meteorological Organization. (1979). *Proceedings of the World Climate Conference: a conference of experts on climate and mankind*. Geneva. Recuperado de https://library.wmo.int/pmb_ged/wmo_537_en.pdf.

Alexandre Luis Junges

 <http://orcid.org/0000-0001-6008-6772>
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Instituto de Física
Porto Alegre, Brasil
aljunges@gmail.com

Neusa Teresinha Massoni

 <http://orcid.org/0000-0002-1145-111X>
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Instituto de Física
Porto Alegre, Brasil
neusa.massoni@if.ufrgs.br

Submetido em 11 de Janeiro de 2018

Aceito em 03 de Maio de 2018

Publicado em 19 de Junho de 2018