

Uma revisão narrativa das percepções e concepções de estudantes brasileiros e portugueses sobre as mudanças climáticas

A NARRATIVE REVIEW OF BRAZILIAN AND PORTUGUESE STUDENTS' PERCEPTIONS AND CONCEPTIONS ABOUT CLIMATE CHANGE

VICTOR HUGO COUTO¹, PEDRO WAGNER GONÇALVES², JAN SERMEUS³

1 - UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS, INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS, PPG ENSINO E HISTÓRIA DE CIÊNCIAS DA TERRA, DOUTORANDO, CAMPINAS, SP, BRASIL.

2 - UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS, INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS, PPG ENSINO E HISTÓRIA DE CIÊNCIAS DA TERRA, DOUTOR EM FILOSOFIA, PROFESSOR ASSOCIADO, CAMPINAS, SP, BRASIL.

3 - ROYAL OBSERVATORY OF BELGIUM, PLANETÁRIO. UNIVERSIDADE CATÓLICA DE LEUVEN (KU LEUVEN), DEPARTAMENTO DE FÍSICA E ASTRONOMIA E FACULDADE DE PSICOLOGIA E CIÊNCIAS DA EDUCAÇÃO, PROFESSOR, LEUVEN, BÉLGICA.

EMAILS: COUTOVH11@GMAIL.COM, V184495@DAC.UNICAMP.BR, PEDROG@UNICAMP.BR, JAN.SERMEUS@KULEUVEN.BE

Abstract: Introduction and Objective. This narrative review aims to analyze the understanding of Brazilian and Portuguese students about climate change through the synthesis and discussion of the literature. **Methodology.** A mapping of misconceptions was carried out through bibliographic review with the target audience being final years of basic and high school education to the initial years of university (approximately 14 to 21 years old). **Results.** It was observed that nearly all misconceptions were shared, except for two that were exclusive to each country. Hypotheses were thus raised about the current stage of environmental education, incidence of misconceptions, national curricula, and teaching practices. **Conclusion.** Overall, more similarities than differences were found in the challenges faced by students (and teachers), which brings interesting discussions for both countries given their closely intertwined history, yet distinct realities.

Resumo: Introdução e Objetivo. Esta revisão narrativa busca analisar o entendimento de estudantes brasileiros e portugueses acerca de mudanças climáticas a partir de uma síntese e discussão da literatura. **Metodologia.** Foi realizado um mapeamento de concepções errôneas por intermédio de revisão bibliográfica de trabalhos que focalizem o público-alvo dos anos finais do ensino básico e médio aos anos iniciais da universidade (14 a 21 anos aproximadamente). **Resultados.** Observou-se um compartilhamento de praticamente todas as concepções errôneas, à exceção de duas que foram exclusivas de cada um dos países. Foram assim levantadas hipóteses sobre: (a) o estágio atual da educação ambiental, (b) a incidência de concepções errôneas, (c) currículos nacionais e (d) a prática docente. **Conclusão.** No geral, encontraram-se muito mais semelhanças do que diferenças nas dificuldades encontradas por estudantes (e professores), que fornecem uma base para discussões interessantes para os dois países dada sua história tão interligada, mas de realidades tão distintas.

Citation/Citação: Couto, V. H., Gonçalves, P. W., & Sermeus, J. (2024). Uma revisão narrativa das percepções e concepções de estudantes brasileiros e portugueses sobre as mudanças climáticas. *Terræ Didática*, 20(Publ. Contínua), 1-16, e024009. doi: 10.20396/td.v20i00.8674120.



Artigo submetido ao sistema de similaridade

Keywords: Environmental Education, Misconceptions, Secondary and University Education, National Curriculum, Alternative conceptions.

Palavras-chave: Educação Ambiental, Conceitos Errôneos, Ensino Médio e Universitário, Currículo Nacional, Concepções alternativas.

Manuscript/Manuscrito:

Received/Recebido: 29/07/2023

Revised/Corrigido: 30/11/2023

Accepted/Aceito: 16/02/2024

Editor responsável: Celso Dal Ré Carneiro 

Revisão de idioma (Inglês): Hernani Aquini Fernandes Chaves 



Introdução

A mudança climática (MC) induzida pelo homem é um dos maiores desafios que a humanidade enfrentará nas próximas décadas. A educação pode, e deve, desempenhar um papel importante na formação de estudantes sobre o tema, e sua presença cada vez maior em vários currículos nacionais é uma prova disso (Fahey, 2012, Bodzin & Fu, 2014, Chang & Pascua, 2017, Colliver, 2017, Howard-Jones et al., 2021). O mundo acadêmico também aumentou significativamente as pesquisas que estudam a educação MC na última década (Bhattacharya et al., 2020).

Neste trabalho, investigamos principalmente as concepções de estudantes sobre MC. A compreensão conceitual é de grande importância na pesquisa educacional, sendo particularmente relevante neste tema específico. A compreensão está intrinsecamente ligada aos modelos mentais globais dos alunos, incluindo suas pré-concepções e concepções errôneas. Trata-se de um fenômeno de impacto global, anteriormente referidas como aquecimento global, cujo impacto em pequena escala é bastante variável e depende de diversos parâmetros locais (Wilbanks & Kates, 1999). Adi-

cionalmente, Reser et al. (2014) observaram que as percepções sobre o assunto diferem em diversas comunidades locais. Portanto, surge a questão de se as concepções dos alunos podem também variar de uma localidade para outra.

Realizamos uma revisão narrativa da literatura sobre as *percepções* e *concepções* (ambas definidas posteriormente no texto) sobre MC de alunos brasileiros e portugueses dos anos finais do ensino fundamental (8ª e 9ª séries) à graduação. O tema não é introduzido nas séries iniciais (embora eles aprendam educação ambiental em geral), portanto, esses foram excluídos. A comparação entre Brasil e Portugal pode oferecer hipóteses interessantes, visto que ambos compartilham uma língua e possuem laços históricos e culturais, mas ao mesmo tempo, possuem profundos contrastes sociais e geográficos.

Na metodologia, são apresentados os termos de busca e as bases de dados utilizadas e explicado o motivo da escolha de uma revisão narrativa em vez de uma revisão sistemática da literatura. Na sessão de resultados, os dados encontrados serão apresentados separadamente para Brasil e Portugal, com considerações envolvendo cada um dos países seguidas de uma discussão geral dos achados. Assim, o presente trabalho busca desenvolver uma discussão sobre as seguintes questões:

- Quais são as concepções errôneas / alternativas sobre mudanças climáticas de estudantes (anos finais do ensino fundamental à universidade) do Brasil e de Portugal?
- Há concepções errôneas exclusivas em um ou outro país?
- O que isso implica para as práticas educativas em cada país?

Sistemas educacionais do Brasil e de Portugal

É importante fazer uma breve descrição da estrutura da educação básica em cada um dos países. No Brasil, a educação básica compreende o Ensino Fundamental (1º a 9º ano) e o Ensino Médio (1º ao 3º ano). Portugal tem o Ciclo Básico (1º ao 9º ano) e o Ensino Secundário (10º ao 12º ano). Esta pesquisa incide sobre alunos do 8.º ano ao ensino superior.

Ambos os países têm uma única disciplina de Ciências na maior parte do Ensino Fundamental. No Brasil, a Ciência é dividida em Biologia, Física e Química no Ensino Médio. Portugal divide as Ciências em Física-Química e Biologia-Geologia

desde o 9º ano. Ciências da Terra não constitui uma disciplina separada no Brasil; sendo normalmente dividida entre Ciências e Geografia. Levando em consideração a estrutura curricular dos dois países, os alunos portugueses têm em tese mais exposição às Ciências da Terra do que os brasileiros.

Metodologia

A revisão narrativa é uma abordagem que permite mais flexibilidade na exploração da literatura, mas é subjetiva a partir da perspectiva dos autores. Embora a metodologia de busca não seja totalmente reproduzível devido ao seu caráter exploratório (Rother, 2007), descrevemos o processo de pesquisa bibliográfica da forma mais abrangente possível. Realizamos buscas no Google Scholar, SciELO e Web of Science utilizando termos específicos (ver Tab. 1).

A principal combinação de termos e operadores de busca utilizados foi:

- (“concepções errôneas” OU “concepções alternativas”) E “estudante*” E (“mudanças climáticas” OU “aquecimento global”) E “Brasil”
- (“concepções errôneas” OU “concepções alternativas”) E “estudante*” E (“mudanças climáticas” OU “aquecimento global”) E “Portugal”

A escolha do termo “estudante” mostrou-se adequada para englobar todo espectro de faixas etárias de interesse para o estudo. Retornou também artigos sobre os primeiros anos da educação básica, mas foram excluídos pois não estão no escopo deste trabalho. A combinação de termos acima foi repetida em inglês.

Como o foco principal deste trabalho é realizar um mapeamento e comparação de concepções errôneas, inicialmente foram selecionados artigos diretamente relacionados às concepções dos alunos sobre MC e que possuam levantamentos com

Tabela 1. Termos de busca utilizados para encontrar artigos que tratem diretamente do objeto da pesquisa. Fonte: elaboração dos autores

Português	Inglês
Brasil	Brazil
Portugal	Portugal
estudantes	students
concepções errôneas	misconceptions
concepções alternativas	alternative conceptions
mudanças climáticas	climate change
aquecimento global	global warming

estudantes dentro da faixa etária escolhida para a pesquisa. Artigos que apenas abordassem discussões sobre educação ambiental de maneira geral não foram incluídos nessa primeira etapa.

Posteriormente, trabalhos adicionais referenciados nessas seleções iniciais foram incluídos (pesquisa de referência retrógrada). A análise dessas referências levou à criação de duas tabelas de concepções errôneas, uma para o Brasil e outra para Portugal. As tabelas são detalhadas na seção Resultados e analisadas e comparadas na seção Discussão.

As concepções errôneas mapeadas foram classificadas de acordo com sua Categoria, podendo ser de Definições, Causas ou Consequências. Além disso, foi mapeada a Incidência de cada concepção errônea por artigo e ano escolar. Quando possível, destacou-se o percentual de estudantes que tiveram aquela determinada concepção errônea dentro do grupo estudado pelo artigo. Cabe a ressalva de que nem sempre foi possível obter essa informação, seja porque a estatística não estava disponível ou a concepção apareceu apenas em algumas respostas discursivas e não foi contabilizada.

Por fim, para cada concepção foi estabelecido um Grau de Preocupação, podendo ser Baixo, Médio ou Alto. As concepções de grau Alto são entendidas como prioridades a serem mitigadas por educadores e na confecção de materiais didáticos. O Grau de Preocupação é fruto da interpretação dos autores e não conta com parâmetros quantitativos, apenas observações e justificativas que serão destrinchadas ao longo dos Resultados e Discussão.

Análise factual das concepções errôneas mapeadas

Para auxiliar o leitor que não esteja tão familiarizado com os fenômenos e mecanismos físico-químicos envolvidos em mudanças climáticas preparamos um breve descritivo no Material Suplementar. Optamos por fazer essa análise a partir das concepções errôneas mapeadas pois desta forma já se faz a ponte da explicação dos fenômenos com as concepções discutidas.

Limitações e considerações sobre o método

Como descrito anteriormente na Metodologia, por se tratar de uma revisão narrativa não há o rigor de análise de uma revisão sistemática. Portanto, existe a possibilidade de que alguma referência

não tenha sido identificada no processo de busca, ainda mais pelo fato de que foi necessário recorrer a dissertações e teses para realizar uma análise mais aprofundada. Porém, como será discutido posteriormente, os próprios trabalhos consultados – recentes – mencionam a escassa produção literária em concepções sobre MC.

Além disso, agrupar concepções errôneas em comum oriundas de diferentes trabalhos mostrou-se um desafio pois cada pesquisa tem uma estrutura própria de questionários e de apresentação de resultados. Assim, foi necessário frisar cada concepção errônea de modo que abarcasse da melhor maneira possível de que forma ela foi tratada na maior parte dos estudos.

Resultados

A busca exploratória com o objetivo de encontrar trabalhos que tratassem especificamente da questão de pesquisa retornou nove referências para o Brasil e sete referências para Portugal. Entre as referências estão também teses de mestrado e doutorado, o que reflete o escasso número de estudos sobre concepções de MC feitos nesses países. Portanto, o que é discutido aqui não deve ser tomado como uma generalização, mas pode apontar tendências importantes.

Ao longo da pesquisa, pôde-se perceber que as perguntas feitas aos alunos podem ser divididas em dois grupos, que para efeito deste artigo, foram denominadas *percepções* e *concepções*.

As percepções são questões que medem opiniões e impressões, não envolvendo conhecimento dos mecanismos e da ciência por trás das MC. Perguntas como:

- Você já ouviu falar em aquecimento global?
- Você acha que, se nada for feito, o clima vai mudar em 30 anos?
- Você acredita em MC?

As concepções são questões que envolvem o conhecimento técnico dos estudantes sobre os mecanismos e a ciência por trás das MC. Perguntas como:

- Quais são as causas do aquecimento global?
- Quais são os gases comumente associados ao efeito estufa?
- Quanto a temperatura aumentará em média nas próximas décadas?

A revisão da literatura é descrita primeiro focando nos achados do Brasil e depois em Portugal. A análise inicial em cada país explorou as percepções dos alunos para entender seu pensamento geral, seguida de uma análise de suas concepções. É importante observar que este artigo se concentra principalmente na análise de concepções. Ao final de cada tópico, foram resumidas as principais concepções errôneas/alternativas encontradas em cada país.

Entendimento do estudante brasileiro sobre MC

Foram encontradas nove referências que tratam diretamente das concepções dos alunos (Tab. 2). Destas, quatro envolvem alunos do Ensino Fundamental, cinco envolvem alunos do Ensino Médio e quatro envolvem alunos do Ensino Superior. A soma é maior que nove porque algumas referências trabalham com mais de um segmento.

Percepções dos estudantes no Brasil

A maioria dos trabalhos revisados versou sobre as percepções de estudantes brasileiros. Observou-se em todas as pesquisas que a maioria dos alunos sabe das mudanças ambientais, principalmente do

aquecimento global, independentemente do ano letivo (Reis & Silva, 2016; Santos et al., 2019, Mesquita et al., 2019). Isso reflete o crescente debate público sobre o tema, amplamente influenciado pela cobertura da mídia, e sua integração no ambiente escolar. A maioria dos alunos entrevistados demonstrou uma compreensão clara dos riscos futuros associados ao aquecimento global, alinhando-se com a percepção geral da população brasileira (Pinto et al., 2020).

A percepção da gravidade das MC permanece relativamente consistente entre os diferentes anos escolares. Borges et al. (2021) analisaram alunos do 9º ano do Ensino Fundamental e 3º ano do Ensino Médio, encontrando resultados semelhantes em ambos os segmentos. Os alunos de ambos os grupos já estavam familiarizados com o tema e seus impactos negativos no meio ambiente, sendo a principal diferença que os alunos mais velhos tendiam a ter um conhecimento mais avançado dos termos e definições relacionados do que os alunos mais jovens.

Outro aspecto importante da percepção dos alunos é como eles “veem” o meio ambiente, ou seja, se para eles a natureza é algo distante do seu cotidiano, se é parte vital da existência de cada um

Tabela 2. Referências selecionadas no Brasil que tratam diretamente de concepções errôneas/alternativas em MC (em ordem crescente por ano). Fonte: elaboração dos autores

Título	Autor e ano	Tipo	Segmento
As concepções alternativas de alunos da 8ª série do ensino fundamental sobre o fenômeno do efeito estufa	Libanore (2008)	Dissertação de Mestrado	Fundamental (Ciclo Básico)
Aquecimento global: uma investigação sobre as representações sociais e concepções de alunos da escola básica	Muniz (2010)	Dissertação de Mestrado	Fundamental (Ciclo Básico) / Médio (Ciclo Secundário) / Superior
Análise de dissertações e teses brasileiras de Educação Ambiental: compreensões elaboradas sobre o tema “mudanças climáticas”	Reis & Silva (2016)	Artigo em periódico	Fundamental (Ciclo Básico) / Médio (Ciclo Secundário) / Superior
Percepção ambiental dos estudantes jovens e adultos da educação básica (Programa EJA) de escolas públicas municipais	Costa (2016)	Artigo em periódico	Médio (Ciclo Secundário)
University Student's Perceptions About Climate Change: The Case of Interior Design and Architecture Students of a Brazilian University	Alves et al. (2017)	Artigo em periódico	Superior
Assessing the Knowledge of Undergraduate Students in Chemistry on the Possible Depletion of the Ozone Layer	Santos et al. (2018)	Artigo em periódico	Superior
Percepção de alunos da primeira série do ensino médio acerca das mudanças climáticas globais	Santos et al. (2018)	Artigo em periódico	Médio (Ciclo Secundário)
Percepções de universitários sobre as mudanças climáticas e seus impactos: estudo de caso no Distrito Federal	Mesquita et al. (2019)	Artigo em periódico	Superior
Estudo sobre as mudanças climáticas nos últimos anos da educação básica em Jaboticabal (SP)	Borges et al. (2021)	Artigo em periódico	Fundamental (Ciclo Básico) / Médio (Ciclo Secundário) / Superior

de nós ou se é apenas um recurso a ser explorado. Nesta linha de análise Costa (2016) observou que 70% dos alunos entrevistados tinham uma visão “reducionista” do meio ambiente, que é definida no artigo como:

Traz a ideia de que meio ambiente se refere estritamente aos aspectos físicos naturais como água, ar, solo, rochas, fauna e flora, excluindo o ser humano e todas as suas produções. Diferentemente da categoria “romântica”, não proclama o enaltecimento da natureza (Costa, 2016, p.396).

A visão é reforçada na pesquisa de Muniz (2010), na qual a maioria dos alunos do ensino fundamental e médio apresentou uma visão *espacial* do ambiente, que tem características muito semelhantes à visão *reducionista* descrita anteriormente. Ambos representam uma visão simplista do meio ambiente, que não considera a integração e a relação entre a natureza e o ser humano. A maioria dos alunos vê a natureza como algo externo ao seu cotidiano, mas concorda e se preocupa com o papel da humanidade no aquecimento global. Talvez essa contradição se deva à falta de reflexão sobre a interligação entre o meio ambiente e nossas vidas, ou mesmo a uma tendência de colocar o ser humano como protagonista do funcionamento do mundo e a natureza como coadjuvante.

Os alunos mais jovens tendem a apontar o homem como o principal ou único agente causador do aquecimento global (Muniz, 2010, Borges et al., 2021) considerando a humanidade como um “predador”, mas quando questionados individualmente, eles se distanciam dessa noção, alegando ter valores pessoais contrários àqueles (Muniz, 2010). Os universitários têm uma percepção mais ampla, reconhecendo causas naturais e humanas para o fenômeno (Mesquita et al., 2019).

O principal meio de informação dos alunos para além da televisão e da instituição de ensino (escola/universidades) é a internet (Muniz, 2010, Mesquita et al., 2019). Isso traz um desafio adicional, pois a internet permite a fácil circulação de mentiras e desinformações, mesmo que não ocorram intencionalmente (Santini & Barros, 2022).

Concepções dos estudantes no Brasil

O fato de alunos conhecerem MC e sua gravidade não significa, necessariamente, que eles entendam seus princípios básicos de funcionamento. Na pesquisa de Santos et al. (2019), todos os alunos (1º

ano do Ensino Médio) entrevistados conheciam os termos “mudanças climáticas” e “aquecimento global”, mas quando perguntados sobre o que é o aquecimento global, 35% deixaram a pergunta em branco; e quando questionados sobre o que é o efeito estufa, 62% deixaram em branco.

Algumas das concepções errôneas mais comuns estão relacionadas ao efeito estufa e ao aquecimento global. A maioria dos alunos dos anos finais do ensino fundamental associa corretamente a poluição do ar aos gases de efeito estufa (Borges et al., 2021), mas também diz que ela é a criadora do efeito estufa (Libanore, 2007). Isso mostra um desconhecimento de que o efeito estufa é um fenômeno natural, e que alguns alunos podem tratar efeito estufa e aquecimento global como sinônimos. A dificuldade em distinguir os dois fenômenos também é partilhada pelos alunos do ensino secundário (Muniz, 2010). Como consequência, alguns estudantes afirmam que o efeito estufa sendo responsável pelo derretimento das geleiras (Libanore, 2007). Nessa mesma pesquisa, a autora mostra que essa confusão conceitual entre os fenômenos também era compartilhada pelos professores, de modo que os alunos acabavam repetindo o que lhes ensinavam.

A poluição frequentemente surge nas respostas dos alunos, levando a concepções errôneas interessantes. Uma noção comum é que ela causa o efeito estufa, principalmente entre alunos do ensino fundamental (Libanore, 2007). Quando questionados sobre as fontes de poluição, os alunos costumam mencionar fumaça, incêndios, indústrias e transporte (Muniz, 2010, Santos et al. 2019, Borges et al., 2021). No entanto, raramente exploram quais fontes geram gases mais poluentes ou o impacto de hábitos de consumo. Alguns alunos acreditam erroneamente que o lixo, principalmente jogado na rua, contribui significativamente para alterações climáticas (Costa, 2016, Santos et al., 2019). Há uma tendência a focar em hábitos individuais, como economia de energia e reciclagem, sem apreender totalmente as complexidades das cadeias produtivas e dos atores econômicos envolvidos (Costa, 2016).

Também há muita confusão na identificação dos principais gases responsáveis pelo efeito estufa. Santos et al. (2019), realizaram uma pesquisa na qual 54% dos participantes não responderam à questão, e 88% forneceram respostas incorretas, citando oxigênio, hidrogênio e nitrogênio, com apenas 10% dos alunos nomeando metano corretamente. Na pesquisa de Borges et al. (2021) aproximadamente 75% dos alunos sabiam que o

dióxido de carbono é o gás de efeito estufa mais abundante na Terra.

Concepções errôneas relacionadas à degradação da camada de ozônio são predominantes entre os alunos. Alguns o associam ao aquecimento global, atribuindo sua destruição ao dióxido de carbono, ou o veem literalmente como um buraco na atmosfera, causando aumento da passagem de energia solar e aquecimento atmosférico (Libanore, 2007, Muniz, 2010). Tais concepções errôneas foram observadas em alunos do ensino fundamental e persistiram até o 1º ano do ensino médio (Santos, 2018). Embora os alunos do ensino superior tenham apresentado redução de concepções errôneas em comparação com os alunos do ensino fundamental (Muniz, 2010, Costa, 2016), elas permaneceram entre os universitários, mesmo em disciplinas especializadas em Química (Alves et al., 2017, Santos et al., 2018).

Uma das consequências mais citadas do aquecimento global é o derretimento das geleiras e consequente aumento do nível do mar (Muniz, 2010, Santos et al. 2019). Apesar de ser uma consequência correta, muitos alunos não fazem distinção entre geleiras que estão no continente (responsáveis pela elevação do nível do mar quando derretidas) e geleiras que já estão flutuando no oceano (cujo derretimento não influencia no nível do mar). Também não há menção ao derretimento do *permafrost*. Como muitos estudantes consideram o efeito estufa como sinônimo de aquecimento global, eles o atribuem como causa do derretimento das calotas polares e das inundações (Libanore, 2007, Muniz, 2010).

Muitos associaram o aumento dos casos de câncer de pele ao aquecimento global (Libanore, 2007, Muniz, 2010). Esse equívoco pode estar relacionado ao fato de associarem a degradação da camada de ozônio ao aquecimento global. O aumento do câncer de pele está de fato relacionado à deterioração da camada de ozônio, pois esta permite uma maior passagem dos raios ultravioleta, mas não está diretamente relacionado ao aquecimento global.

As respostas dos alunos costumam mencionar danos ambientais como consequência do aquecimento global (Muniz, 2010, Santos et al., 2019), incluindo a destruição de espécies da fauna e da flora. No entanto, suas explicações muitas vezes carecem de especificidade, indicando um entendimento superficial. Santos et al. (2019) constatou que apenas 12% dos alunos mencionaram “mudanças climáticas” como consequência, refletindo pouco hábito de uso do termo. Surpreendentemente, na mesma pesquisa, cerca de 25% dos alunos citaram

a poluição como consequência, possivelmente indicando concepções alternativas da dinâmica do clima ou entendendo mal a intenção da pergunta. Adicionalmente, em Muniz (2010), alguns alunos associaram o aquecimento global a tsunamis e terremotos, revelando uma correlação entre fenômenos com causas distintas. A Tabela 3 resume as principais concepções errôneas/alternativas dos alunos brasileiros junto com sua categoria (causas, consequências ou definições) e sua incidência por segmento escolar onde foram detectados.

Entendimento do estudante português sobre MC

Analogamente à pesquisa realizada para o Brasil, em Portugal há um número limitado de trabalhos especificamente sobre concepções alternativas (García-Vinuesa et al., 2021). A maioria das referências foca em percepções e há importantes contribuições de dissertações de mestrado e teses de doutorado.

Foram encontradas sete referências que tratam diretamente das concepções dos alunos (Tab. 4). Destas, três envolvem alunos do Ciclo Básico, quatro envolvem alunos do Ensino Secundário e duas envolvem alunos do Ensino Superior. A soma é maior que sete porque algumas referências trabalham com mais de um segmento.

Percepções dos estudantes em Portugal

A maioria dos alunos que participaram das pesquisas conhece e acredita em MC (Santos et al., 2016, García-Vinuesa et al., 2021). No entanto, uma porcentagem significativa ainda crê que não há um consenso entre os cientistas. García-Vinuesa et al. (2021) constataram que isso é verdade para aproximadamente 26% dos alunos do Ciclo Básico, enquanto Santos et al. (2016) realizaram uma pesquisa semelhante entre estudantes universitários, revelando que 25% dos entrevistados compartilhavam dessa visão. Notavelmente, Santos et al. (2016) observaram a mesma tendência entre alunos em cursos relacionados ao meio ambiente.

Na pesquisa exploratória realizada para Portugal não foram encontradas referências que fizessem pesquisas como a de Costa (2016) e Muniz (2010) para saber como os alunos portugueses “veem” o meio ambiente e separam as suas visões em categorias. A maioria das perguntas nos trabalhos explora a visão dos alunos sobre questões ambientais (causas e consequências), em vez de sua relação e como eles concebem a própria natureza.

Tabela 4. Referências selecionadas em Portugal que tratam diretamente de concepções errôneas/alternativas em MC (em ordem crescente por ano). Fonte: elaboração dos autores

Título	Autor e ano	Tipo	Segmento
Aquecimento global e degradação da camada de ozono: Ensino e aprendizagem no Ensino Secundário	França (2002)	Dissertação de mestrado	Médio (Ciclo Secundário)
Análise da percepção ambiental de estudantes do ensino básico em Portugal	Fernandes et al. (2007)	Relatório de grupo de pesquisa	Fundamental (Ciclo Básico)
Efeito de Estufa e Aquecimento Global: Um estudo com alunos de Física e Química de 3.º Ciclo e Secundário	Peixoto (2009)	Tese de doutorado	Fundamental (Ciclo Básico) / Médio (Ciclo Secundário)
Ambiente e sustentabilidade: o ponto de vista dos alunos	Roque (2011)	Artigo em periódico	Fundamental (Ciclo Básico)
Assessing student perceptions and comprehension of climate change in Portuguese higher education institutions	Santos et al. (2016)	Artigo (capítulo de livro)	Superior
Assessing high school student perceptions and comprehension of climate change	Azeiteiro et al. (2018)	Artigo (capítulo de livro)	Médio (Ciclo Secundário)
Assessing climate knowledge and perceptions among adolescents. An exploratory study in Portugal	García-Vinuesa et al. (2021)	Artigo em periódico	Médio (Ciclo Secundário)

Fernandes et al. (2007) realizaram um extenso estudo sobre a percepção geral dos alunos do 5º e 8º anos de diferentes regiões de Portugal. Observou-se um amadurecimento crescente entre as séries em temas como a importância dos temas ambientais para a vida profissional e necessidade de legislação ambiental. Porém, em muitos outros aspectos, os alunos do 5º ano tiveram percepções melhores do que os alunos do 8º ano, destacando-se: frequência do assunto em sala de aula, participação em atividades (dentro e fora da escola) em atividades relacionadas ao meio ambiente, discussão em família, sensibilidade para questões ambientais e interesse geral pelo assunto.

Roque (2011) realizou um estudo com alunos do ciclo básico (1º ao 9º ano) e observou uma evolução positiva na percepção global dos alunos ao longo do tempo. A pesquisa revelou um aumento gradativo da preocupação e do reconhecimento individual da importância de abordar MC. O reconhecimento nem sempre se traduz em ação imediata, mas significa um reconhecimento de sua necessidade. Quando questionados sobre a necessidade de uma mudança de estilo de vida para combater o aquecimento global, a maioria dos alunos não se sentiu compelida a fazer tais ajustes. Enquanto muitos expressaram vontade de renunciar a produtos de consumo para contribuir com a questão, os alunos mais velhos pareciam mais hesitantes.

Dos alunos (10º a 12º anos) pesquisados por García-Vinuesa et al. (2021), mais de 90% acreditam que a principal causa das alterações climáticas é antrópica. Esse percentual é menor em alunos de cursos de especialização em ciências humanas

(76,1%) e maior no grupo de ciências naturais (91,3%). Chama a atenção na pesquisa de Roque (2011) que a maioria dos alunos não acredita que a solução dos problemas climáticos seja responsabilidade dos países mais ricos, faltando uma opinião definitiva sobre o assunto. Na pesquisa de García-Vinuesa et al. (2021) os alunos atribuíram uma baixa responsabilidade a Portugal na problemática, mas apontaram que o país está muito sujeito aos impactos climáticos.

As principais fontes de informação dos alunos portugueses sobre o ambiente para além da escola são a televisão e a internet (Fernandes et al., 2007). Isso reforça o cuidado que os educadores devem ter na elaboração dos materiais didáticos, que, se mal elaborados, podem contribuir para a disseminação de concepções errôneas (Roque, 2011).

Concepções dos estudantes em Portugal

Na pesquisa realizada por Fernandes et al. (2007), 12,1% dos participantes admitiram desconhecer o conceito de aquecimento global, enquanto 8,3% afirmaram que ele não existe. Peixoto (2009) constatou que nenhum dos alunos entrevistados forneceu uma explicação cientificamente precisa e completa do efeito estufa em questões discursivas, com apenas uma minoria oferecendo respostas incompletas com concepções errôneas. Além disso, no trabalho de França (2002) foi feita uma análise de alunos de ensino secundário com especialização técnica e de química; menos de 10% reconheceram o efeito estufa como um fenômeno natural. Isso mostra que até em cursos específicos existe uma dificuldade

persistente em definir com precisão os principais fenômenos envolvidos em MC.

Uma das concepções errôneas mais comuns é que o efeito estufa e aquecimento global são sinônimos (França, 2002, Roque, 2011). É mais comum em alunos mais jovens e tende a diminuir nos mais velhos, mas ainda está presente. A dificuldade em distinguir o que é cada fenômeno leva a concepções erradas sobre as suas causas, por exemplo 37,5% dos alunos (10^o a 12^o anos) atribuem à poluição a causa do efeito de estufa (França, 2002). Em vários estudos, foi relatado que associam erroneamente o efeito estufa ao buraco na camada de ozônio, ou tratam um como a causa do outro (Peixoto, 2009, Roque, 2011, Azeiteiro et al., 2018).

As confusões conceituais levam a crenças contraditórias entre os alunos. Por exemplo, na pesquisa de França (2002), embora nenhum aluno tenha estabelecido uma relação recíproca entre o aquecimento global e a degradação da camada de ozônio (o que é correto, pois não há relação direta entre esses fenômenos), 30% dos alunos acreditavam que o aquecimento global aumentaria se mais raios ultravioletas chegassem à Terra (consequência direta da degradação da camada de ozônio, reconhecida por 87% dos alunos analisados). A autora sugeriu que a forma como as proposições do questionário foi escrita pode ter influenciado as respostas dos alunos. Em outras pesquisas (Peixoto, 2009, Roque, 2011, Azeiteiro et al., 2018), os alunos fizeram a associação errônea entre o aquecimento global e a camada de ozônio.

Relativamente ao conhecimento dos gases causadores do aquecimento global, a maioria dos alunos reconhece a participação do dióxido de carbono como um dos principais (França, 2002, Peixoto, 2009). Uma parcela significativa dos alunos portugueses também listou corretamente outros gases importantes como o metano, o ozônio troposférico, o óxido nitroso e os clorofluorcarbonetos (CFCs), embora possivelmente tenham sido selecionados devido a uma relação errônea entre a destruição da camada de ozônio e o efeito estufa (Peixoto, 2009). Assim, em geral, os alunos portugueses parecem estar familiarizados com os diferentes gases que compõem a atmosfera e conhecem sua relação com o efeito estufa e o aquecimento global. Apesar disso, na mesma pesquisa, um número relevante de alunos (10^a a 12^a séries) também apontou ozônio (58,8%), hidrogênio (27,7%) e nitrogênio (43,6%) como participantes do efeito estufa, o que não é correto.

No que diz respeito à poluição ambiental, parcela significativa dos alunos associa a poluição atmosférica diretamente ao efeito estufa, reforçando a confusão conceitual entre os fenômenos (Peixoto, 2009, Roque, 2011). A maioria também associa erroneamente o lixo jogado na rua e o esgoto como influências diretas (Fernandes et al., 2007, Peixoto, 2009). Os alunos portugueses também citaram o lixo nuclear como relacionado às MC (Peixoto, 2009), o que não foi observado no Brasil.

As concepções específicas sobre a camada de ozônio também evidenciam a confusão conceitual entre os fenômenos. Muitos sustentam a ideia de que o “buraco” na camada de ozônio é literalmente um buraco (França, 2002), facilitando a passagem dos raios ultravioleta que são diretamente responsáveis pelo aquecimento da atmosfera ou ainda pelo efeito estufa (Peixoto, 2009, Roque, 2011). Na pesquisa de França (2002) mostraram bom conhecimento de que os principais responsáveis pela degradação da camada de ozônio são os CFCs, mas uma parcela relevante associou a poluição em geral como a causa do problema.

Em relação às consequências do aquecimento global uma das mais citadas é o derretimento do gelo nos polos, causando elevação do nível do mar e inundações (Fernandes et al., 2007, Peixoto, 2009). Como muitos alunos têm dificuldades com as definições de aquecimento global e efeito estufa, podem atribuir a isso a causa do derretimento das calotas polares.

Uma consequência muitas vezes mencionada erroneamente é que o aquecimento global aumenta a incidência de câncer de pele (França, 2002, Peixoto, 2009). A degradação do buraco na camada de ozônio pode de fato levar a mais casos de câncer, mas eles também apontam isso para o aquecimento global porque misturam os dois fenômenos. Houve também alguns alunos que referiram aumento de mortes por ataques cardíacos (Peixoto, 2009).

Uma consequência correta da MC mencionada pelos alunos portugueses e que não aparece nas pesquisas no Brasil são as ondas de calor, mais sentidas em regiões de clima mais frio (Fernandes et al., 2007). No entanto, como visto nas pesquisas brasileiras, alguns estudantes portugueses associam o aquecimento global a eventos extremos como terremotos e tsunamis (Peixoto, 2009).

Os alunos portugueses têm uma boa percepção dos impactos do aquecimento global na biodiversidade e na alteração dos ecossistemas (Fernandes et al., 2007, Santos et al., 2016). No entanto, nas

pesquisas realizadas, não foi possível definir até que ponto conhecem os mecanismos pelos quais o aquecimento global influencia o funcionamento dos vários ecossistemas. A Tabela 5 sintetiza as principais concepções errôneas/alternativas dos alunos portugueses juntamente com a sua Categoria (Causas, Consequências ou Definições) e sua incidência por segmento escolar no qual foram detectados, juntamente com as referências.

Discussão

Da literatura consultada, fica claro que estudantes brasileiros e portugueses de todas as idades estão cientes das MC e reconhecem o papel que os

seres humanos desempenham no este fenômeno. Apesar dessa consciência, existem vários equívocos com relação às causas, consequências e definições de mudança climática e aquecimento global. Esses equívocos são persistentes, em linha com o que demonstraram outras pesquisas sobre equívocos (Viennot, 1979, Chi, 2005), persistindo do ensino fundamental ao superior.

Existem alguns trabalhos no Brasil que tratam especificamente da visão dos alunos (Reis & Silva, 2016), mas ainda há poucos trabalhos publicados, especialmente em relação a concepções. Além disso, há uma concentração de trabalhos na região Sudeste do Brasil, pouca colaboração interinstitucional e com autores estrangeiros (Cararo et al., 2022).

Tabela 5. Concepções errôneas/alternativas mapeadas em estudantes portugueses. As porcentagens junto às referências indicam o número de alunos que apresentaram aquela concepção dentre o total amostrado. Em alguns casos não foi possível obter a porcentagem (x) pois a estatística não estava disponível ou a concepção apareceu apenas em algumas respostas discursivas e não foi contabilizada. Fonte: elaboração dos autores

Concepção errônea / alternativa	Categoria	Incidência		
		Fundamental	Médio	Superior
Efeito estufa como sinônimo de aquecimento global	Definições	Roque (2011)	França (2002), ~50%	x
		Peixoto (2009), 18 a 25,7%	Peixoto (2009), 5 a 8,8%	
Camada de ozônio como sinônimo (ou causadora) de aquecimento global [1] / efeito estufa [2] / mudanças climáticas [3]	Definições	[1] Roque (2011), 9 a 63%	[3] Azeiteiro et al., 2018, 81%	[3] Santos et al. (2016), 57%
		[2] Peixoto (2009), 6 a 12,8%	[2] Peixoto (2009), 1 a 8,8%	
Poluição atmosférica gerando efeito estufa	Causas	x	França (2002), ~ 7,4%	x
			García-Vinuesa et al. (2021), 50%	
“Buraco” da camada de ozônio sendo literalmente um buraco	Definições	x	França (2002), 8,6 a 63,6%	x
A degradação da camada de ozônio é causada por poluição ou acúmulo de CO2	Causas	Peixoto (2009),	França (2002), ~9%	x
			Peixoto (2009),	
Lixo na rua possui relação direta e significativa com mudanças climáticas	Causas	Peixoto (2009), 67,4%	Peixoto (2009), 59,8%	x
Aumento de casos de câncer por causa do aquecimento global/ efeito estufa	Consequências	Peixoto (2009), 86,7%	Peixoto (2009), 84,5%	x
			França (2002), 26 a 45%	
Oxigênio, hidrogênio e nitrogênio são gases de efeito estufa	Causas	Peixoto (2009), 21,5 a 43,6%	Peixoto (2009), 21,5 a 43,6%	x
			França, P.M.C.P, 2002	
Efeito estufa é o responsável pelo derretimento das geleiras	Consequências	Roque (2011)	França (2002), 68 a 87%	x
Lixo nuclear possui relação direta com mudanças climáticas	Consequências	Peixoto (2009), 74,5%	Peixoto (2009), 58,8%	x
Aquecimento global tem relação com terremotos e tsunamis	Consequências	Peixoto (2009), ~20%	Peixoto (2009), ~20%	x

Assim, o presente trabalho não visa generalizar o que os estudantes brasileiros pensam sobre MC, apenas apontar tendências e levantar hipóteses. Em Portugal também existe uma escassez de trabalhos que tratem especificamente das concepções errôneas (García-Vinuesa et al., 2021). No entanto, por ser um país pequeno e com uma população muito menor do que a do Brasil, é relativamente mais fácil fazer um inquérito de âmbito nacional como o trabalho de Fernandes et al. (2007) que abrange escolas de quase todas as regiões.

O primeiro destaque sobre a percepção dos temas relacionados a MC é que eles são amplamente conhecidos pela maioria dos alunos em todos os segmentos analisados nos dois países. Por exemplo, estudantes em ambos os países veem os humanos como os principais responsáveis pelas alterações climáticas (Muniz, 2010, Borges et al., 2021, García-Vinuesa et al., 2021), embora esta noção pareça estar mais bem consolidada em Portugal. Além disso, os alunos demonstram grande preocupação com o tema, o que reflete pesquisas de opinião pública para a população em geral nos dois países (Schmidt & Delicado, 2014, Pinto et al., 2020). Isso é esperado, pois as principais fontes de informação para estudantes brasileiros e portugueses são a escola, a televisão e a internet (Fernandes et al., 2007, Muniz, 2010, Mesquita et al., 2019).

Os trabalhos de Muniz (2010) e Costa (2016) abordaram como os alunos veem a natureza como um todo, estabelecendo categorias para as diferentes perspectivas. Esses estudos tratam especificamente do Brasil, não sendo encontradas pesquisas semelhantes em Portugal. No entanto, da interpretação dos estudos sobre a percepção dos alunos portugueses, verificou-se que à medida que envelhecem e tendem a desenvolver uma visão “reducionista” (Costa, 2016) do ambiente, coincidindo com os estudantes brasileiros. O desenvolvimento dessa visão pode ser evidenciado no trabalho de Roque (2011) onde, apesar de ter havido uma evolução positiva na percepção dos estudantes sobre o problema climático, poucos responderam que mudariam o próprio estilo de vida para combater o aquecimento global. A aparente contradição aqui exposta ressoa com a visão de que a natureza é importante, parte de nossas vidas, mas cumpre um papel secundário ou utilitarista no grande esquema das coisas. Ou seja, é importante cuidar do meio ambiente o necessário para se evitar grandes catástrofes, mas que isso não signifique uma mudança radical de estilo de vida.

Os alunos portugueses apresentaram um amadurecimento ligeiramente melhor de percepção de MC ao longo dos anos escolares – nomeadamente no reconhecimento da importância da ação política (Fernandes et al., 2007) – enquanto no Brasil esta evolução só se manifestou nos estudantes universitários (Roque, 2011, Mesquita et al., 2019). Em contrapartida, verificou-se também que tornam-se mais apáticos em relação à ação ambiental à medida que envelhecem, sendo nos mais novos um maior envolvimento e sensibilidade para esta causa (Fernandes et al., 2007).

Com o passar dos anos, embora o interesse geral e o reconhecimento da importância do assunto não diminuam, os alunos parecem se ver menos como agentes ativos na tomada de decisões públicas que irão moldar as políticas ambientais. Segundo Kent (2009), a ênfase na responsabilidade individual no contexto de MC – propagada em especial na cultura ocidental – é improdutivo ao atomizar a solução, quando esta passa necessariamente por instrumentos de controle e decisão coletivos e democráticos. Isso pode explicar o alto nível de preocupação com o assunto, mas o baixo nível de ação real e efetiva.

Os alunos portugueses matriculados em cursos de Ciências da Terra demonstraram melhor percepção comparativamente aos estudantes de Ciências Sociais (García-Vinuesa et al., 2021). Isso sugere que a prevalência das Ciências da Terra no currículo de Portugal, ao contrário do Brasil, pode contribuir para alimentar o interesse de alunos naturalmente inclinados à ciência e reforçar percepções precisas sobre esses assuntos. A exposição limitada às Ciências da Terra no currículo brasileiro leva a discussões de classe mais rasas e desafios na promoção do pensamento crítico neste domínio.

Entra em questão também – especialmente no contexto brasileiro – o desafio de encontrar espaço em um currículo já extenso para uma educação ambiental efetiva e integradora às demais disciplinas, como evidenciado por 43,5 % dos professores entrevistados no trabalho de Santos et al. (2021). Para tal não basta apenas tempo e vontade, mas sim treinamento e pensar diferentes metodologias, como por exemplo aprendizagem ativa, que sejam mais efetivas na internalização da problemática ambiental por parte dos estudantes. Também no trabalho de Santos et al. (2021), 68,9 % dos professores declararam não terem sido preparados para inserir educação ambiental no exercício da docência.

Acerca das percepções gerais dos estudantes sobre MC e o papel da escola nesse contexto, três hipóteses foram formuladas:

Hipótese 1 – A visão dos alunos sobre a natureza

Apesar de todas as diferenças geográficas, culturais e educacionais, em geral os estudantes portugueses e brasileiros exibem uma visão “reducionista” (Costa, 2016) do meio ambiente.

Hipótese 2 – O papel da educação ambiental

A Educação Ambiental como estruturada na maioria das escolas (nos dois países) é ineficiente em mostrar ao aluno o real peso de cada ator no problema do aquecimento global e como tomar ações efetivas em relação a ele, exercendo seu papel de cidadão crítico.

Hipótese 3 – Impacto da disciplina específica de Ciências da Terra

A existência de uma disciplina específica para Geologia nas escolas portuguesas ajuda os alunos a desenvolverem percepções mais maduras/corretas em relação às MC.

O foco deste trabalho foi mapear as principais concepções errôneas/alternativas e estabelecer comparações (Tab. 6). Elas foram divididas em três grupos: Definições, Causas e Consequências. Além disso, foram atribuídos “Graus de Preocupação” a cada um. Referem-se à urgência com que o equívoco deve ser abordado, seja no contexto educacional formal ou não formal. As classificações são “Baixa”, “Média” e “Alta” e resultam da interpretação dos autores com base em toda a discussão do trabalho. A classificação feita baseia-se principalmente na premissa de que é preciso lidar com as concepções

Tabela 6. Gráfico comparativo das concepções errôneas de MC entre Brasil e Portugal. Na coluna Incidência são anotados os segmentos educacionais em que a concepção foi constatada com a notação: I – Anos finais do ensino fundamental (6ª a 9ª séries), II – Ensino médio (10ª a 12ª séries), III – Ensino superior. Também na coluna Incidência está o número de referências diferentes nas quais o equívoco foi encontrado. Fonte: elaboração dos autores

Concepção errônea / alternativa em comum	Categoria	Incidência		Grau de preocupação
		Brasil	Portugal	
Efeito estufa como sinônimo de aquecimento global	Definições	I, II - 2 referências	I, II - 3 referências	Alta
Camada de ozônio como sinônimo (ou causadora) de aquecimento global	Definições	I, II, III - 3 referências	I, II, III - 4 referências	Alta
“Buraco” da camada de ozônio sendo literalmente um buraco	Definições	I, II, III - 3 referências	II - 1 referência	Alta
A degradação da camada de ozônio é causada por poluição ou acúmulo de CO ₂	Causas	I, II, III - 3 referências	I, II - 2 referências	Alta
Poluição atmosférica gerando efeito estufa	Causas	I, II - 2 referências	II - 2 referências	Média
Efeito estufa é o responsável pelo derretimento das geleiras	Consequências	I, II - 3 referências	I, II - 2 referências	Média
Lixo na rua possui relação direta e significativa com mudanças climáticas	Causas	II - 2 referências	I, II - 2 referências	Média
Aumento de casos de câncer por causa do aquecimento global/ efeito estufa	Consequências	I, II - 2 referências	I, II - 2 referências	Média
Oxigênio, hidrogênio e nitrogênio são gases de efeito estufa	Causas	II - 1 referência	I, II - 2 referências	Baixa
Aquecimento global tem relação com terremotos e tsunamis	Consequências	II - 1 referência	I, II - 1 referência	Baixa
Concepção errônea / alternativa única	Categoria	Incidência		Grau de preocupação
		Brasil	Portugal	
Poluição como consequência do aquecimento global	Consequências	II - 1 referência	Não encontrada	Baixa
Lixo nuclear está diretamente relacionado a mudanças climáticas	Causas	Não encontrada	I, II - 1 referência	Baixa

errôneas mais urgentes; abordar outras será mais fácil para os educadores, pois as mais urgentes contêm conceitos fundamentais.

Existem quatro concepções errôneas comuns categorizadas com Alto grau de preocupação. Duas delas têm alta incidência nos dois países: “Efeito estufa como sinônimo de aquecimento global” e “Camada de ozônio como sinônimo (ou causa) de aquecimento global”. Revelam uma dificuldade generalizada dos alunos com as definições e caracterização dos fenômenos. Foram marcadas com grande preocupação, pois outras concepções errôneas podem derivar delas. Por exemplo, saber que o efeito estufa é um processo natural pode evitar concepções errôneas como “O efeito estufa é responsável pelo derretimento das geleiras”.

O equívoco “Buraco da camada de ozônio sendo literalmente um buraco” revela a dificuldade dos alunos em entender a estrutura básica da atmosfera. Parte desse problema pode ser atribuído ao próprio termo que é usado de forma descuidada pela mídia e à falta de clareza com que o assunto é tratado nas escolas (ou muito rapidamente). Esta concepção teve uma incidência menor em Portugal, o que pode refletir a maior exposição dos alunos aos temas das Ciências da Terra.

Também classificado como Alto grau de preocupação está um conceito da categoria “Causas”: “A degradação da camada de ozônio é causada por poluição ou acúmulo de CO_2 ”. Ela foi classificada assim porque mostra que muitos alunos associam indiscriminadamente qualquer tipo de poluição a todos os tipos de fenômenos atmosféricos, mostrando as dificuldades de definir e separar cada fenômeno. Outras concepções classificadas com Médio grau de preocupação exibem a mesma característica, mas apenas esta foi categorizada como Alto grau porque está relacionada à degradação da camada de ozônio e este fenômeno teve uma incidência extremamente alta nos artigos revisados.

O grande problema que pode surgir dessa mistura de conceitos e fenômenos é não haver clareza do que é a causa de qual problema, sua real dimensão e assim transformar tudo que parecer plausível em um componente essencial da complexa equação que são as MC. A consequência da desinformação e confusão de conceitos para uma pessoa leiga pode ser o aumento da ansiedade climática e, no limite, alguém com genuína preocupação começar a tratar a questão climática como causa perdida (Oliveira et al., 2016).

Existem quatro concepções errôneas de um grau Médio de preocupação com ênfase na

ocorrência no ensino médio. Duas estão relacionadas às consequências e duas a causas de MC. A análise delas revela novamente a dificuldade do aluno em separar a interação dos fenômenos e a associação de qualquer tipo de poluição a alterações climáticas. Elas foram classificadas com nível de preocupação Médio porque têm uma incidência considerável, estão relacionadas às dificuldades dos alunos em compreender as definições de cada um dos principais fenômenos e podem levar a ações ineficazes por parte dos alunos e perpetuação dessas concepções para o público em geral. São concepções que podem ser mais manejáveis pelos educadores com a elucidação das concepções de Alto grau de preocupação, principalmente as da categoria “Definições”.

É possível notar que algumas concepções errôneas estão interligadas entre si. Por exemplo, “Efeito estufa é o responsável pelo derretimento das geleiras” é um equívoco, pois o efeito estufa é um fenômeno natural e geleiras sempre existiram mesmo sob sua influência. O mais adequado seria afirmar “Aquecimento global é o responsável pelo maior derretimento das geleiras”. Fazendo essa associação é quase que imediato retornar à concepção errônea “Efeito estufa como sinônimo de aquecimento global”. Assim o estudante que pensar “Efeito estufa é o responsável pelo derretimento das geleiras” possivelmente também pensará “Efeito estufa como sinônimo de aquecimento global”.

Dessa forma, evidencia-se a necessidade de tratar adequadamente as concepções de categoria “Definição” pois elas abarcam conceitos fundantes que, uma vez bem entendidos, podem auxiliar na mitigação de concepções de outras categorias. Nesse contexto, é essencial o cuidadoso preparo de aulas e materiais didáticos. Num excerto de material analisado por Roque (2011) consta um desenho esquemático mostrando o planeta com fábricas soltando fumaça onde está escrito “Efeito de estufa” e logo ao lado uma floresta recebendo chuva de uma nuvem com a legenda “Chuvas ácidas” e “Radiações nocivas” de um buraco no céu com a legenda “Buraco na camada de ozônio”. Observa-se a mistura de muitos conceitos distintos numa mesma imagem e que podem levar professores e estudantes à desinformação e associações errôneas sobre esses fenômenos. Cabe a ressalva de que algum grau de simplificação é sempre necessário e os desenhos esquemáticos têm seu valor pedagógico, mas muitas vezes sua má elaboração pode ter justamente o efeito contrário do pretendido.

Existem duas concepções errôneas de Baixo grau de preocupação: “Oxigênio, hidrogênio e nitrogênio são gases de efeito estufa” e “O aquecimento global está ligado a terremotos e tsunamis”. A primeira foi registrada nos ensinamentos fundamental e médio de Portugal, porém, ao mesmo tempo, os um número significativo de estudantes também reconhecia corretamente gases de efeito estufa. Essa maior familiaridade com os gases componentes da atmosfera em relação aos estudantes brasileiros pode ser reflexo da disciplina específica de Geologia no ensino básico. A segunda concepção mostra uma falsa relação causal envolvendo fenômenos essencialmente geológicos, que pode ser em parte alimentada pelo tom de gravidade usado em notícias e comunicações sobre MC e a consequente associação psicológica com fenômenos naturais drásticos. Embora a problemática seja urgente, é preciso ter muito cuidado com o alarmismo que alimenta concepções errôneas, como dizer que o aquecimento do planeta vai gerar tsunamis ou que reciclar todo o lixo produzido vai resolver o problema do aquecimento global.

Uma concepção errônea foi encontrada exclusivamente no Brasil: “A poluição como consequência do aquecimento global”. Ela foi relatada por cerca de 25% dos alunos analisados por Santos et al., 2019 à pergunta “Quais são as principais consequências do aquecimento global?”, e apesar de não ter sido explorado no artigo, pode revelar confusão ou desatenção por parte dos alunos com a pergunta feita. Caso seja realmente uma concepção errônea vale à pena explorar mais a fundo se mais estudantes têm a noção de que aquecimento global gera poluição. Os alunos podem estar associando poluição atmosférica e chuva ácida. Trata-se de fenômeno comum em áreas industriais ou de transporte intenso. Mas, para esclarecer isso torna-se necessário investigar os nexos implícitos no pensamento dos alunos.

A segunda concepção errônea única surgiu em Portugal: “Lixo nuclear possui relação direta com mudanças climáticas”. Não foi relatada no Brasil possivelmente por haver uma maior familiaridade com o tema devido ao maior número de usinas desse tipo na Europa, enquanto no Brasil existem apenas duas e ambas no mesmo estado. Vale acrescentar que na pesquisa de Santos et al. (2018) com graduandos de química brasileiros foram questionados sobre uma possível (incorreta) associação entre energia nuclear e a destruição da camada de ozônio e 73,9% disseram que existe. Ao responder isso, eles fizeram uma relação indireta com energia

nuclear, pois também afirmam que a degradação da camada de ozônio tem relação com o aumento do efeito estufa.

Encontrar um equívoco em apenas um país não significa necessariamente que ele não exista no outro. É importante lembrar que a base de dados deste estudo é pequena e não é possível fazer generalizações, mas o que foi encontrado pode apontar algumas tendências importantes. O tema poluição foi mais recorrente no Brasil do que em Portugal, mesmo com os alunos associando-o a uma consequência do aquecimento global, conforme comentado anteriormente. Isso pode refletir a condição social do Brasil, um país em desenvolvimento, em contraste com Portugal, um país mais rico. Além disso, os alunos portugueses mencionaram mais espontaneamente a energia nuclear, o que pode indicar uma tendência regional deste equívoco ser mais comum na Europa, onde a energia nuclear é difundida.

Apesar das diferenças nos sistemas educacionais entre Portugal e Brasil, a comparação dos resultados revela mais semelhanças do que diferenças nos principais equívocos e dificuldades enfrentadas pelos estudantes em ambos os países. Isso significa que, apesar de um currículo português que inclui Ciências da Terra, equívocos similares ainda permanecem. No entanto, espera-se que a educação sobre mudança climática (MC) ainda seja importante, pois, como visto, a falta de ênfase curricular no assunto no Brasil leva a percepções ambientais simplistas e ao fracasso em abordar os equívocos dos estudantes (Silva et al., 2022). Pode ser que as semelhanças nas dificuldades dos estudantes em ambos os países sejam uma combinação de múltiplos fatores, como falta de treinamento adequado dos educadores, influência da mídia e imprecisões no material educacional.

Uma diferença entre os países é o maior conhecimento (ou reconhecimento) dos gases de efeito estufa e das suas funções por parte dos alunos portugueses, evidenciado sobretudo em Peixoto (2009). Isso pode ser devido à maior exposição do assunto no Ensino Médio (Ensino Médio) por meio das disciplinas de Biologia-Geologia e Físico-Química, trabalhando tanto a química dos átomos componentes quanto a participação dos gases no ciclo geológico e atmosférico.

Isso levanta outra discussão importante, que diz respeito à titulação do professor, suas especializações e a linguagem utilizada em sala de aula. Diferentes formações podem moldar diferentes didáticas e formas de ensinar, então, por exemplo,

um professor formado em Química pode ensinar aquecimento global de forma diferente de um professor formado em Física. Isso é especialmente relevante para o Brasil, que não possui uma disciplina específica para Ciências da Terra.

Em contraste com cursos fragmentados, é cada vez mais comum o surgimento de graduações e especializações em Ciências e disciplinas afins, contemplando uma visão integral dos três eixos das Ciências Naturais (Reis & Mortimer, 2020). Esses cursos tendem a ter em sua estrutura uma maior abordagem de temas transversais e complexos.

Como o currículo português já prevê uma integração entre áreas (Biologia-Geologia e Físico-Química), os cursos de formação de professores já funcionam naturalmente com uma transversalidade relativamente maior. Mas isso não significa necessariamente que os professores estejam mais bem preparados, pois muitos sentem a necessidade de uma formação complementar sobre o tema (Borges et al., 2012). Os professores são fortemente orientados por meio de seus livros didáticos e materiais em ambos os países e têm problemas com apresentações confusas, incompletas ou errôneas dos fenômenos climáticos (Libanore, 2007, Roque, 2011).

A linguagem utilizada em sala e no material didático pode até se refletir nas respostas dos estudantes (e professores) aos questionários utilizados nas pesquisas. Greenhill et al. (2014) observaram que a forma e linguagem que um questionário relacionado à MC é feito pode influenciar nas respostas dadas. Também concluem que, por se tratar de um tema multidimensional e complexo, os respondentes muitas vezes se sentem inseguros sobre que resposta marcar e optam por um “caminho do meio”. Por exemplo, numa pergunta sobre as causas do aquecimento global, se há disponível a opção “Causas naturais E antropogênicas” muitas pessoas se sentem compelidas a marcá-la, o que tem resultados diferentes se a pergunta é feita de modo discursivo.

Três hipóteses foram elaboradas em relação à tendência regional de ocorrência de concepções errôneas, papel da formação dos professores e currículos nacionais. São elas:

Hipótese 4 – Regionalização das concepções errôneas

As concepções errôneas das MC podem ter uma força maior em um determinado país/região, dependendo das características sociais, culturais e geográficas desse lugar.

Hipótese 5 – MC nos currículos educacionais

Uma disciplina específica de Ciências da Terra não é suficiente para resolver adequadamente as concepções errôneas envolvendo definições fundamentais de MC, mas ajuda na memorização de tópicos aprendidos em outras disciplinas (por exemplo, gases de efeito estufa em Química).

Hipótese 6 – Formação dos professores de ciências

A titulação do professor (Biologia, Física ou Química) molda sua linguagem, didática e familiaridade com diferentes temas. Isso influencia sua didática e pode ser relevante para reproduzir concepções errôneas entre os alunos. Professores com formação específica em Ciências tendem a ensinar melhor MC e propagar menos concepções errôneas aos seus alunos.

Conclusões

É importante destacar que muitos estudantes, tanto no Brasil quanto em Portugal, declaram ter conhecimento moderado ou bom de assuntos relacionados a MC (Alves et al., 2018, García-Vinuesa et al., 2021). Isso parece contrastar com a alta incidência de concepções errôneas, principalmente no que diz respeito às definições dos fenômenos climáticos.

A mudança conceitual não é um processo simples, ela esbarra em resistências naturais (quase involuntárias) e exige, sobretudo, uma predisposição da pessoa. Uma concepção não é simplesmente substituída por outra, mas sofre um reajuste de seu uso de acordo com o contexto (Pereira, 2017). Não há consenso sobre como esse processo ocorre na mente, e o mais provável é que haja uma multiplicidade deles, dependendo das estruturas do modelo mental de cada um (Aguar Jr., 2001).

Assim, não há uma única intervenção pedagógica ou modelo de ensino capaz de sanar as principais concepções errôneas. Possivelmente a utilização de múltiplas abordagens em diferentes disciplinas com a reafirmação de definições cientificamente corretas seja o caminho para a construção de um entendimento climático mais adequado.

A dimensão social e afetiva é também essencial para a consolidação desse conhecimento pelos alunos (Pereira, 2017). Eles precisam se relacionar com o que aprendem para criar a curiosidade de ir além do entendimento básico, e um tópico complexo como MC apresenta inúmeros desafios ao

seu entendimento fundamental. Além disso, é um tema urgente e deve ser tratado como tal, tomando cuidado para não cair em alarmismos infundados ou transmitir uma atitude derrotista aos alunos, tratando-o como uma “causa perdida”, o que pode gerar ansiedade climática (Oliveira et al., 2016).

Por fim, este estudo reforça a convicção de que os desafios da educação ambiental não se limitam às fronteiras dos países e devem ser pensados globalmente e em conjunto. As dificuldades enfrentadas por diferentes países são muito semelhantes, mas a solução passa pela multiplicidade de ideias

e práticas que crescem se forem compartilhadas por professores de diferentes formações e culturas.

Agradecimentos

O primeiro autor agradece a toda turma da disciplina *Tópicos Especiais – Mudança Climática? Não acredito! Evidências, mecanismos e implicações das mudanças no clima*, do Programa de Pós-Graduação de Ensino e História de Ciências da Terra (IG-UNICAMP), cujas discussões serviram de inspiração para o tema deste trabalho.

Taxonomia CRediT: • Contribuição dos autores: Conceitualização; Curadoria de dados; Análise formal; Investigação; Metodologia; Validação; Visualização; Escrita – rascunho original; Escrita – revisão & edição – Victor Hugo Couto. Administração do projeto; Metodologia; Supervisão; Escrita – revisão e edição: Pedro Wagner Gonçalves. Investigação; Metodologia; Validação; Visualização; Escrita – revisão e edição: Jan Sermeus. • Conflitos de interesse: Os autores certificam que não têm interesse comercial ou associativo que represente um conflito de interesses em relação ao manuscrito. • Aprovação ética: Não aplicável. • Disponibilidade de dados e material: Disponível no próprio texto. • Financiamento: Não aplicável.

Referências

- Aguiar Jr., O. (2001). Mudanças conceituais (ou cognitivas) na educação em ciências: revisão crítica e novas direções para a pesquisa. Belo Horizonte: *Ensaio, Pesquisa em Educação em Ciências*, 3(1), 81-105. doi: 10.1590/1983-21172001030106.
- Alves, F., Nicolau, L. B., Lima, D., Azeiteiro, U. M., & Nicolau, P. B. (2018). University student's perceptions about climate change: The case of Interior Design and Architecture students of a Brazilian University. *Handbook of Climate Change Communication: Vol. 2. Climate Change Management*. Springer, Cham. p. 183-203. doi: 10.1007/978-3-319-70066-3_13.
- Azeiteiro, U. M., Bacelar-Nicolau, P., Santos, P. T., Bacelar-Nicolau, L., & Morgado, F. (2018). Assessing high school student perceptions and comprehension of climate change. *Handbook of Climate Change Communication: Vol. 3. Climate Change Management*. Springer, Cham., 21-34. doi: 10.1007/978-3-319-70479-1_2.
- Bhattacharya, D., Carroll Steward, K., & Forbes, C. T. (2020). Empirical research on K-16 climate education: A systematic review of the literature. *Journal of Geoscience Education*, 69, 223-247. doi: 10.1080/10899995.2020.1838848.
- Bodzin, A. M., & Fu, Q. (2014). The Effectiveness of the Geospatial Curriculum Approach on Urban Middle-Level Students' Climate Change Understandings. *Journal of Science Education and Technology*, 23(4), 575-590. doi: http://www.jstor.org/stable/24019744.
- Borges, F. de F., Bataghin, F. A., & Oliveira, T. V. de. (2021). Estudo sobre as mudanças climáticas nos últimos anos da educação básica em Jaboticabal (SP). *Revista Brasileira de Educação Ambiental (RevBEA)*, 16(4), 60-79. doi: 10.34024/revbea.2021.v16.11710.
- Borges, F., Reis, C., & Fernandes, J. A. (2012). Percepções de professores portugueses do 1º ciclo do ensino básico sobre a abordagem da educação ambiental na escola. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 11(1), 187-202. URL: http://reec.uvigo.es/volumenes/volumen11/REEC_11_1_10_ex558.pdf. Acesso 15.02.2024.
- Cararo, E. R., Chimello, V. F., Piovezana, L., Lima-Rezende, C. A., Santos, J. A., & Rezende, R. de S. (2022). Environmental education in Brazil: trends and gaps from 2015 to 2019. *Research, Society and Development*, 11(4), e45211427598. doi: 10.33448/rsd-v11i4.27598.
- Chang, C. H., & Pascua, L. (2017). The curriculum of climate change education: A case for Singapore. *The Journal of Environmental Education*, 48(3), 172-181. doi: 10.1080/00958964.2017.1289883.
- Colliver, A. (2017). Education for climate change and a real-world curriculum. *Curriculum Perspectives*, 37(1), 73-78. doi: 10.1007/s41297-017-0012-z.
- Costa (2016). Percepção ambiental dos estudantes jovens e adultos da educação básica (Programa EJA) de escolas públicas municipais. *Revista Monografias Ambientais*, 15(1), 393-403. doi: 10.5902/2236130819822
- Fahey, S. J. (2012). Curriculum change and climate change: Inside outside pressures in higher education. *Journal of Curriculum Studies*, 44(5), 703-722. doi: 10.1080/00220272.2012.679011.
- Fernandes, R. S., Silva, M. C. M., Souza, V. J., Besteiro, A., Abelheira, L., Oliveira, M., Madanelo, O., ..., & Fonseca, S. (2008). *Análise da Percepção Ambiental de Estudantes do Ensino Básico em Portugal*. Núcleo de Estudos em Percepção Ambiental NEPA. URL: https://cenedcursos.com.br/meio-ambiente/percepcao-ambiental-portugal/. Acesso 01.10.2023.
- França, P. M. C. P. (2002). *Aquecimento global e degradação da camada de ozono: ensino e aprendizagem no ensino secundário*. Porto: Universidade do Porto. (Dissert. Mestrado). URL: http://hdl.handle.net/10216/9678. Acesso 15.02.2024.
- García-Vinuesa, A., Carvalho, S., Meira Cartea, P. Á., & Azeiteiro, U. M. (2021). Assessing climate knowledge and perceptions among adolescents. An exploratory study in Portugal. *The Journal*

- of *Educational Research*, 114(4), 381-393. doi: 10.1080/00220671.2021.1954582.
- Greenhill, M., Leviston, Z., Leonard, R., & Walker, I. (2014). Assessing climate change beliefs: Response effects of question wording and response alternatives. *Public Understanding of Science*, 23(8), 947-965. doi: 10.1177/0963662513480117.
- Howard-Jones, P., Sands, D., Dillon, J., & Fenton-Jones, F. (2021). The views of teachers in England on an action-oriented climate change curriculum. *Environmental Education Research*, 27(11), 1660-1680. doi: 10.1080/13504622.2021.1937576.
- Kent, J. (2009). Individualized responsibility and climate change: "If climate protection becomes everyone's responsibility, does it end up being no-one's?". *Cosmopolitan Civil Societies: An Interdisciplinary Journal*, 1(3), 132-149. URL: <https://search.informit.org/doi/10.3316/informit.136404740616745>. Acesso 15.02.2024.
- Libanore, A. C. L. D. S. (2007). As concepções alternativas de alunos da 8ª série do ensino fundamental sobre o fenômeno do efeito estufa. Maringá: Universidade Estadual de Maringá. (Dissert. Mestrado). doi: <http://repositorio.uem.br:8080/jspui/handle/1/4406>. Acesso 15.02.2024.
- Mesquita, P. D. S., Braz, V. D. S., Morimura, M. M., & Bursztyn, M. (2019). Percepções de universitários sobre as mudanças climáticas e seus impactos: estudo de caso no Distrito Federal. *Ciência & Educação (Bauru)*, 25, 181-198. doi: 10.1590/1516-731320190010012.
- Muniz, R. M. (2010). *Aquecimento global: uma investigação sobre as representações sociais e concepções de alunos da escola básica*. São Paulo: Universidade de São Paulo. [Dissert. Mestrado, Ensino de Ciências (Física, Química e Biologia)]. doi: 10.11606/D.81.2010.tde-04082010-111309.
- Nguyen, Trang Thi Thuy, Henderson, Lyn, and Baskin, Colin (2007) First year Bachelor of Education students' mental models of themselves as learners. In: AARE 2007 International Educational Research Conference. pp. 1-13. URL: <https://www.aare.edu.au/data/publications/2007/ngu07223.pdf>. Acesso 15.02.2024.
- Oliveira, M. A., Vecchia, F. A. S., & Carneiro, C. D. R. (2015). A educação no contexto do aquecimento global: da ignorância e analfabetismo científico ao raciocínio crítico e literacia climática. *Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista*, 11(4), 287-310. (Anais Fórum Ambiental da Alta Paulista, 11, Tupã, 20 a 22 de julho de 2015. Anais..., Tupã, UNESP, Campus de Tupã). URL: https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/forum_ambiental/article/view/1292/1312. Acesso 19.02.2024.
- Peixoto, A. M. D. C. (2009). *Efeito de estufa e aquecimento global: um estudo com alunos de Física e Química de 3º Ciclo e Secundário*. Universidade do Minho. (Dissert. Mestrado em Física). URL: <https://hdl.handle.net/1822/9945>. Acesso 15.02.2024.
- Pereira, A. P. de. (2017). Um panorama da pesquisa internacional sobre mudança conceitual. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 17(1), 215-242. doi: 10.28976/1984-2686rbpec2017171215
- Pinto, G. E., Pires, A., & Georges, M. R. (2020). O Antropoceno e a mudança climática: a percepção e a consciência dos brasileiros segundo a pesquisa IBOPE. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, 54. doi: 10.5380/dma.v54i0.67833
- Reis, D. A. D., & Silva, L. F. (2016). Análise de dissertações e teses brasileiras de Educação Ambiental: compreensões elaboradas sobre o tema "mudanças climáticas". *Ciência & Educação (Bauru)*, 22, 145-162. doi: 10.1590/1516-731320160010010.
- Reis, R. D. C., & Mortimer, E. F. (2020). Um estudo sobre Licenciaturas em Ciências da Natureza no Brasil. *Educação em Revista*, 36, e205692. doi: 10.1590/0102-4698205692.
- Reser, J. P., Bradley, G. L., & Ellul, M. C. (2014). Encountering climate change: 'seeing' is more than 'believing'. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 5(4), 521-537. doi: 10.1002/wcc.286.
- Roque, A. L. D. M. (2011). *Ambiente e sustentabilidade: o ponto de vista dos alunos*. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, Portugal. (Dissert. Mestrado). URL: <http://hdl.handle.net/10362/6157>. Acesso 15.02.2024.
- Rother, E. T. (2007). Systematic literature review X narrative review. *Acta Paulista de Enfermagem*, 20, v-vi. doi: 10.1590/S0103-21002007000200001.
- Santini, R. M., & Barros, C. E. (2022). Negacionismo climático e desinformação online: uma revisão de escopo. *Liinc em Revista*, 18(1), e5948. doi: 10.18617/liinc.v18i1.5948.
- Santos, A. H. V., Silva, A. K. C. S., Sales, M. M. S., Cruz, R. R., & Costa, V. S. O. (2021) A práxis das escolas que dizem fazer educação ambiental. *Revista DELOS*, 14(39) 1-16. doi: 10.51896/DELOS/KDQS5511.
- Santos, K., Santos, L., & Pitanga, A. (2018). Assessing the knowledge of undergraduate students in Chemistry on the possible depletion of the ozone layer. *International Journal of Chemistry Education*, 3(1), 036-043. URL: https://www.academia.edu/110270453/Assessing_the_Knowledge_of_Undergraduate_Students_in_Chemistry_on_the_Possible_Depletion_of_the_Ozone_Layer?uc-sb-sw=9080545. Acesso 15.02.2024
- Santos, M. P., Galvão, L. C. M. S., & Pinto, A. S. (2019). Percepções de alunos da primeira série do ensino médio acerca das mudanças climáticas globais. *Scientia Plena*, 15(1). doi: 10.14808/sci.plena.2019.012701.
- Santos, P. T., Bacelar-Nicolau, P., Pardal, M. A., Bacelar-Nicolau, L., & Azeiteiro, U. M. (2016). Assessing student perceptions and comprehension of climate change in Portuguese higher education institutions. In: Leal Filho, W., Adamson, K., Dunk, R., Azeiteiro, U., Illingworth, S., & Alves, F. (Eds.). (2016). *Implementing Climate Change Adaptation in Cities and Communities: Integrating Strategies and Educational Approaches*. Cham: Springer. p. 221-236. doi: 10.1007/978-3-319-28591-7_12.
- Schmidt, L., & Delicado, A. (2014). *Alterações climáticas na opinião pública. Ambiente, alterações climáticas, alimentação e energia: a opinião dos portugueses*. Lisboa: Imprensa de Ciências Sociais (ICS). (Observatórios ICS; 1). p. 113-143. URL: https://repositorio.ul.pt/bitstream/10451/10849/1/ICS_LSchmidt_ADelicado_Ambiente_LEN.pdf. Acesso 15.02.2024.
- Silva, D. N. S., Gomes, E. T. A., & Serna, A. G. (2022). Educação Ambiental no Novo Ensino Médio: o que há de 'novo'? *Retratos da Escola*, 16(34), 127-147. doi: 10.22420/rde.v16i34.1466.
- Wilbanks, T. J., & Kates, R. W. (1999). Global change in local places: how scale matters. *Climatic change*, 43(3), 601-628. doi: 10.1023/A:1005418924748.