

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE FÍSICA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA

**AQUECIMENTO GLOBAL: UMA QUESTÃO SOCIOCIENTÍFICA A SER  
DISCUTIDA NA FORMAÇÃO DE PROFESSORES DE FÍSICA DA EDUCAÇÃO  
BÁSICA**

**Alexandre Luis Junges**

Porto Alegre – RS

2019

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE FÍSICA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA

**AQUECIMENTO GLOBAL: UMA QUESTÃO SOCIOCIENTÍFICA A SER  
DISCUTIDA NA FORMAÇÃO DE PROFESSORES DE FÍSICA DA EDUCAÇÃO  
BÁSICA**

Alexandre Luis Junges

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ensino de Física do Instituto de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor em Ensino de Física.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dra. Neusa Teresinha Massoni

Porto Alegre – RS

2019

**Para minha mãe Celita (in memoriam)**

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Programa de Pós-graduação em Ensino de Física do Instituto de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) por financiar parcialmente a presente pesquisa.

Aos professores do Programa de Pós-graduação em Ensino de Física pelos ensinamentos e experiências compartilhadas.

A minha orientadora Prof<sup>ª</sup>. Dra. Neusa Teresinha Massoni, pela orientação e apoio ao longo destes anos de convivência.

Aos meus colegas e amigos do Programa de Pós-graduação em Ensino de Física, enfim, a todas as pessoas que compartilharam comigo momentos importantes durante os anos de doutorado.

## RESUMO

Um dos desafios da educação ambiental para o século XXI é a inserção da temática do aquecimento global e mudanças climáticas no ambiente escolar. Na medida em que a comunidade científica vem apontando para a urgência e necessidade da sociedade enfrentar o desafio das mudanças climáticas, a mesma resposta e preocupação parece não estar ocorrendo no contexto educacional. Nesse sentido, a presente tese de doutorado visa contribuir para a inserção e aprofundamento da discussão sobre a temática do aquecimento global no ensino de Ciências. Num primeiro momento é apresentada uma revisão da literatura, especialmente do contexto das publicações internacionais, que identifica conceitos e metodologias utilizadas na abordagem do tema. No capítulo sobre o referencial teórico são discutidos os aspectos do ensino e aprendizagem de questões sociocientíficas controversas, conceituando as questões sociocientíficas, os modos de estruturação do ensino e, especialmente, os aspectos epistemológicos envolvidos, dando especial ênfase à epistemologia da controvérsia científica, além de refletir sobre as implicações pedagógicas no que tange à autonomia intelectual do aluno frente às questões controversas, bem como sobre “o que ensinar como sendo controverso?”. Foram realizados três estudos que compõem a presente tese. O Estudo 1 constitui-se de um estudo teórico onde são discutidos três temas: a física básica do efeito estufa, a história da ciência do aquecimento global e a questão do consenso científico sobre as causas do aquecimento global. O Estudo 2 consiste em um estudo empírico que envolveu a aplicação e validação de um questionário, visando identificar concepções e entendimentos de professores formados e em formação sobre os fenômenos do efeito estufa e aquecimento global. Os resultados obtidos com a análise estatística, combinada com a análise de conteúdo, sugerem que a amostra de licenciandos e licenciados, que responderam ao questionário, apresentam lacunas conceituais no que tange a compreensão dos fenômenos do efeito estufa e aquecimento global. O Estudo 3, também empírico, envolveu a aplicação de uma sequência didática sobre aquecimento global em uma turma de Licenciatura em Física, onde foram discutidos aspectos científicos, históricos e epistemológicos relacionados a temática do aquecimento global, bem como o emprego de uma atividade de argumentação. Os resultados deste estudo indicam dificuldades entre licenciandos para lidar com temas complexos como o aquecimento global, acentuando a necessidade dos cursos de licenciatura em ensino de Ciências de prestarem maior atenção à temas sociocientíficos como é o caso do aquecimento global. Neste sentido, a presente pesquisa espera contribuir com o aprofundamento de conceitos e apontando possíveis caminhos para a promoção de uma educação científica e ambiental voltada para a temática do aquecimento global e/ou mudanças climáticas.

**Palavras-Chave:** aquecimento global; efeito estufa; educação ambiental; questões sociocientíficas controversas.

## ABSTRACT

One of the challenges of environmental education for the 21st century is the inclusion of global warming and climate change in the school classroom. However, while the scientific community has been pointing to the urgency and necessity of society to meet the challenge of climate change, the same response and concern does not appear to be occurring in the educational context. The present PhD dissertation aims to contribute to the inclusion and deepening of the discussion on global warming in the context of science education. At first, a literature review in the context of international publications is presented, which exemplifies concepts and methodologies used to approach the theme. In the theoretical framework chapter, we discuss aspects of the teaching and learning of controversial socio-scientific issues, conceptualizing socio-scientific issues and defining ways of structuring the teaching and the epistemological aspects involved. We also dedicate special attention to the epistemology of scientific controversy and the pedagogical implications of intellectual autonomy in the context of controversial issues, with a discussion on the question of "what should we teach as controversial?". We carried out three studies. Study 1 is a theoretical study split into three themes: the physics of the greenhouse effect, the history of science of global warming and the nature of scientific consensus on global warming. Study 2 consists of an empirical study that involved the application of a questionnaire, aiming to identify conceptions and understandings of pre-service teachers and teachers on the phenomena of the greenhouse effect and global warming. The results obtained with the analysis of the sample of respondents point out to the existence of several conceptual misunderstandings about the greenhouse effect and global warming. Study 3, also empirical, involved the application of a didactic sequence on global warming in an undergraduate Physics class, where scientific, historical and epistemological aspects related to global warming were discussed. The results of this study indicate difficulties among pre-service teachers when dealing with complex socio-scientific issues such as global warming, emphasizing the need for undergraduate courses in science education to pay more attention to these issues. We hope to contribute to the deepening of concepts and to point out possible ways to promote a scientific and environmental education focused on the issue of global warming and climate change.

**Keywords:** global warming; greenhouse effect; environmental education; Physics education, controversial socio-scientific issues.

## **Lista de Siglas e Abreviaturas**

AGA	Aquecimento Global Antropogênico
CTS	Ciência, Tecnologia e Sociedade
CTSA	Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
QSC	Questão Sociocientífica
QSCs	Questões Sociocientíficas
QSCCs	Questões Sociocientíficas Controversas

## Lista de Figuras

<b>Figura 3.1:</b> Relação entre os campos da educação científica, educação ambiental e as questões sociocientíficas (QSCs). Adaptado de Sadler & Murakami (2014). .....	49
<b>Figura 3.2:</b> Estrutura de ensino e aprendizagem de QSCs. Adaptado de Sadler & Murakami (2014). .....	51
<b>Figura 3.3:</b> Conceituando “o que o aprendiz aprende” na aprendizagem ambiental (adaptado de Rickinson, Lundholm e Hopwood, 2009, p.18). .....	58
<b>Figura 5.1:</b> Intensidade da energia solar nos planetas Vênus, Terra e Marte (alertamos que a representação é ilustrativa e está fora de escala). .....	83
<b>Figura 5.2:</b> (a) Planeta absorve energia. (b) Planeta emite energia. ....	84
<b>Figura 5.3:</b> Desenho esquemático do efeito estufa da Terra. ....	89
<b>Figura 5.4:</b> Espectro eletromagnético, com destaque à estreita faixa da luz visível .....	90
<b>Figura 5.5:</b> Intensidade da radiação emitida <i>versus</i> o comprimento de onda. ....	90
<b>Figura 5.6:</b> Espectros de emissão do Sol e da Terra. ....	91
<b>Figura 5.7:</b> Representação das bandas de absorção do dióxido de carbono. ....	92
<b>Figura 5.8:</b> Modos de vibração do CO <sub>2</sub> . ....	93
<b>Figura 5.9:</b> Emissão e absorção de radiação na atmosfera terrestre .....	94
<b>Figura 5.10:</b> (a) Terra fria sem efeito estufa. (b) Terra com efeito estufa. ....	96
<b>Figura 5.11:</b> Modelo de linha de uma camada. ....	97
<b>Figura 5.12:</b> Representação do balanço entre o fluxo de entrada e saída de água numa pia. ....	99
<b>Figura 5.13:</b> Balanço de energia da Terra. (a) em equilíbrio, (b) efeito estufa intensificado e fora do equilíbrio, (d) novo equilíbrio. ....	100
<b>Figura 7.1:</b> Contra-argumento construído pelo Grupo 1. ....	195
<b>Figura 7.2:</b> Contra-argumento construído pelo Grupo 2. ....	197
<b>Figura 7.3:</b> Contra-argumento construído pelo Grupo 3. ....	199

## Lista de Tabelas

<b>Tabela 5.1:</b> Dados para o cálculo da temperatura de equilíbrio.....	85
<b>Tabela 5.2:</b> Alguns dados sobre Mercúrio, Vênus, Terra e Marte.....	87
<b>Tabela 5.3:</b> Mudanças antropogênicas na composição de gases estufa. Adaptado de Barry e Chorley (2013). .....	104
<b>Tabela 6.1:</b> Perfil do Respondente. (a) Idade, (b) Formação, (c) Nível de docência, (d) Instituição de docência, (e) Tempo de docência. ....	133
<b>Tabela 6.2:</b> Frequência de respostas por categoria para a questão Q1.....	136
<b>Tabela 6.3:</b> Frequência de respostas por categoria para a questão Q2.....	141
<b>Tabela 6.4:</b> Frequência de respostas para cada “contexto/conteúdo” disciplinar da questão Q3.....	145
<b>Tabela 6.5:</b> Frequência de respostas por categorias para a questão Q15. ....	147
<b>Tabela 6.6:</b> Médias e desvios padrões das respostas Q4 a Q11. ....	152
<b>Tabela 6.7:</b> Frequência e percentual das respostas à Q12.....	154
<b>Tabela 6.8:</b> Frequência e percentual de respostas à Q13. ....	155
<b>Tabela 6.9:</b> Frequência e percentual de respostas à Q14. ....	155
<b>Tabela 6.10:</b> Análise Fatorial usando método das Componentes Principais. (a) Matriz de Correlações. (b) Variância Total Explicada. (c) Matriz de Componentes. ....	157
<b>Tabela 6.11:</b> Análise de Consistência Interna. (a) Coeficiente alfa de Cronbach para Q4 a Q11. (b) Cálculo dos coeficientes de correlação do item com o restante dos itens ( <i>item rest</i> ) e alfa de Cronbach quando o item é excluído.....	159
<b>Tabela 6.12:</b> Análise da variância para a variável <i>idade</i> . (a) média no escore AGA por grupo. (b) análise da variância (ANOVA). ....	161
<b>Tabela 6.13:</b> Análise da variância para a variável <i>formação</i> . (a) média no escore AGA por grupo. (b) análise da variância (ANOVA). ....	162
<b>Tabela 6.14:</b> Análise da variância para a variável <i>nível de ensino</i> . (a) média no escore AGA por grupo. (b) análise da variância (ANOVA).....	162
<b>Tabela 6.15:</b> Análise da variância para a variável <i>tipo de instituição</i> . (a) média no escore AGA por grupo. (b) análise da variância (ANOVA).....	163
<b>Tabela 6.16:</b> Análise da variância para a variável <i>tempo de docência</i> . (a) média no escore AGA por grupo. (b) análise da variância (ANOVA).....	163
<b>Tabela 6.17:</b> Análise da variância para as categorias de Q1. (a) média no escore AGA por grupo. (b) análise da variância (ANOVA). ....	164
<b>Tabela 6.18:</b> Análise da variância para as categorias de Q2. (a) média no escore AGA por grupo. (b) análise da variância (ANOVA). ....	165
<b>Tabela 6.19:</b> Análise da variância para as categorias de Q15. (a) média no escore AGA por grupo. (b) análise da variância (ANOVA). ....	165
<b>Tabela 6.20:</b> Análise da variância para as categorias de Q12. (a) média no escore AGA por grupo. (b) análise da variância (ANOVA). ....	168
<b>Tabela 6.21:</b> Análise da variância para as categorias de Q13. (a) média no escore AGA por grupo. (b) análise da variância (ANOVA). ....	169
<b>Tabela 6.22:</b> Análise da variância para as categorias de Q14. (a) média no escore AGA por grupo. (b) análise da variância (ANOVA). ....	169

## Lista de Quadros

<b>Quadro 2.1:</b> Trabalhos analisados de acordo com as categorias (1), (2) e (3) no contexto das publicações internacionais em Ensino de Ciências. ....	27
<b>Quadro 7.1:</b> Avaliação da percepção de controvérsia e consenso para cada respondente do pré-teste. ....	183
<b>Quadro 7.2:</b> Avaliação da percepção de controvérsia e consenso para cada respondente do pós-teste. ....	205

## Lista de Gráficos

<b>Gráfico 5.1:</b> Dados de temperatura e dióxido de carbono reconstruídos a partir de cilindros de gelo da estação Vostok (Atártica). .....	102
<b>Gráfico 5.2:</b> Medidas da concentração de dióxido de carbono na atmosfera feitas no observatório Mauna Loa, Hawaii .....	104
<b>Gráfico 5.3:</b> Variação da temperatura média global (1880 - 2013). .....	105
<b>Gráfico 6.1:</b> Histograma das respostas para o escore AGA. ....	160
<b>Gráfico 6.2:</b> Gráfico de barra de erro para os escores AGA das categorias de Q1. Onde no eixo das abscissas A, B, C, D, E, F são respectivamente as categorias da Tabela 6.17a. ....	166
<b>Gráfico 6.3:</b> Gráfico de barra de erro para os escores AGA das categorias de Q2. Onde no eixo das abscissas A, B, C, D, E são respectivamente as categorias da Tabela 6.18a. ....	167
<b>Gráfico 6.4:</b> Gráfico de barra de erro para os escores AGA das categorias de Q15. Onde no eixo das abscissas A, B, C, D, E são respectivamente as categorias da Tabela 6.19a. ....	167
<b>Gráfico 6.5:</b> Gráfico de barra de erro para os escores AGA das categorias de Q12. Onde no eixo das abscissas A, B, C são respectivamente as categorias da Tabela 6.20a. ....	170
<b>Gráfico 6.6:</b> Gráfico de barra de erro para os escores AGA das categorias de Q13. Onde no eixo das abscissas A, B, C, D são respectivamente as categorias da Tabela 6.21a. ....	170
<b>Gráfico 7.1:</b> Gráficos de barras com o posicionamento dos oito respondentes com respeito à afirmativa Q2. (a) Resultado do pré-teste. (b) Resultado pós-teste. ....	203

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	15
2. REVISÃO DA LITERATURA .....	23
2.1 Efeito estufa, aquecimento global e mudanças climáticas no contexto das publicações nacionais em ensino de Ciências .....	23
2.2 Efeito estufa, aquecimento global e mudanças climáticas no contexto das publicações internacionais em ensino de Ciências.....	26
2.2.1 Concepções e atitudes de professores e alunos sobre as mudanças climáticas, aquecimento global e efeito estufa .....	28
2.2.2 Trabalhos que discutem o desenvolvimento de propostas didáticas para o ensino do aquecimento global, efeito estufa e mudanças climática.....	35
2.2.2.1 Física básica do efeito estufa: atividades experimentais e uso de modelos .....	36
2.2.2.2 Debate, argumentação e pensamento crítico no ensino de mudanças climáticas.....	39
2.2.2.3 Propostas de ensino mistas: utilização de múltiplos recursos e estratégias de ensino .....	41
2.2.3 Reflexões teóricas sobre o ensino de questões sociocientíficas: aquecimento global e mudanças climáticas.....	42
3. REFERENCIAL TEÓRICO.....	48
3.1 Ensino e aprendizagem de Questões Sociocientíficas .....	48
3.1.1 Modelo de estruturação do ensino e aprendizagem de QSCs .....	50
3.1.2 A dimensão epistemológica no ensino de QSCs .....	53
3.1.3 A dimensão da aprendizagem nas Questões Sociocientíficas Controversas .....	56
3.2 Letramento científico e autonomia intelectual no ensino de QSCs.....	60
3.3 Questões Sociocientíficas Controversas .....	65
3.3.1 O que é uma controvérsia científica? .....	65
3.3.2 O que devemos ensinar como sendo controverso?.....	71
4. REFERENCIAL METODOLÓGICO .....	74
4.1 Aspectos da metodologia quantitativa .....	74
4.2 Análise qualitativa na perspectiva da análise de conteúdo de Bardin .....	77
4.3 A metodologia qualitativa de estudo de caso .....	79
5. ESTUDO 1: ESTUDO TEÓRICO .....	81
5.1 Da Física básica do efeito estufa ao aquecimento global .....	82

5.1.1 O conceito de temperatura planetária .....	82
5.1.2 A atmosfera e os gases de efeito estufa .....	87
5.1.3 O balanço de energia da Terra .....	94
5.1.4 A intensificação de efeito estufa e a ação humana .....	98
5.1.5 O papel do CO <sub>2</sub> no aquecimento global .....	101
5.2 Um breve histórico da ciência do aquecimento global .....	106
5.3 Aquecimento global: um tema polêmico .....	115
5.3.1 O consenso científico sobre as causas do aquecimento global .....	116
5.3.2 A contestação do consenso e controvérsias científicas fabricadas .....	120
<b>6. ESTUDO 2: ESTUDO EMPÍRICO – PESQUISA DE OPINIÃO, CONCEPÇÕES E ENTENDIMENTOS SOBRE AQUECIMENTO GLOBAL .....</b>	<b>130</b>
6.1 Apresentação do questionário: construção e validação de conteúdo .....	130
6.2 Análise e resultados da aplicação do questionário .....	133
6.2.1 O perfil do respondente .....	133
6.2.2 Resultados para as questões abertas Q1, Q2, Q3 e Q15 .....	135
6.2.3 Resultados para as questões fechadas Q4 a Q14 .....	149
6.2.3.1 Gráficos de barras para os itens Q4 a Q11 .....	149
6.2.3.2 Padrão respostas para as questões Q12, Q13, Q14: .....	154
6.3 Validade de Construto das Questões Q4 a Q11: análise fatorial e análise de consistência interna .....	156
6.4 Análise da Variância: comparando médias entre os grupos de respondentes .....	160
6.4.1 Análise da variância para o perfil do respondente .....	161
6.4.2 Análise da variância para as categorias das questões Q1, Q2 e Q15 .....	164
6.4.2 Análise da variância para as questões Q12, Q13, Q14 .....	168
6.5 Considerações gerais sobre o Estudo 2 .....	171
<b>7. ESTUDO 3: ESTUDO DE CASO – UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA NA FORMAÇÃO DE PROFESSORES DE FÍSICA PARA TRATAR DA TEMÁTICA DO AQUECIMENTO GLOBAL .....</b>	<b>173</b>
7.1 Descrição dos Encontros .....	174
7.2 Análise e resultados dos Encontros .....	179
7.2.1 Resultados do pré-teste .....	179
7.2.2 Análise dos episódios de ensino: os Encontros .....	185
7.2.3 Resultados obtidos no Pós-Teste .....	202
7.3 Considerações gerais sobre o Estudo 3 .....	208

8. CONCLUSÃO .....	211
9. REFERÊNCIAS .....	217
Apêndice A: Questionário utilizado no Estudo 2 .....	230
Apêndice B: Proposições de conhecimento empregadas na formulação do questionário .....	235
Apêndice C: Pré-tese utilizados no Estudo 3.....	238
Apêndice D: Pós-tese utilizados no Estudo 3.....	239
Apêndice E: Texto sobre controvérsias científicas utilizados no Estudo 3.....	240
Apêndice F: Texto sobre a Física do Efeito Estufa utilizado no Estudo 3.....	246
Apêndice G: Texto 1 sobre a história da ciência do aquecimento global utilizado no Estudo 3 .....	256
Apêndice H: Texto 2 sobre a história da ciência do aquecimento global utilizado no Estudo 3 .....	266
Apêndice I: <i>Scaffold</i> de argumentação utilizado no Estudo 3 .....	271
Apêndice J: Argumentos Céticos presentes no Filme e abordados no Estudo 3.....	272
Apêndice K: Resposta ao argumento cético (1) utilizado no Estudo 3 .....	275
Apêndice L: Resposta ao argumento cético (2) utilizado no Estudo 3.....	278
Apêndice M: Resposta ao argumento cético (3) utilizado no Estudo 3.....	281

## 1. INTRODUÇÃO

Cada vez mais é reconhecido por pesquisadores e educadores que a temática ambiental constitui uma das prioridades educacionais do século XXI. Sabe-se hoje que problemas sociais e econômicos, como a desigualdade social, o saneamento básico e o crescimento econômico estão em direta conexão com a degradação ou preservação do ambiente natural. Neste sentido, tratar da solução de problemas sociais e econômicos requer, a longo prazo, tratar inevitavelmente de problemas ambientais. Dentro deste contexto é indispensável que a educação desempenhe seu papel na “formação ecológica” dos cidadãos (Orr, 1992).

A importância da educação ambiental no enfrentamento de problemas ambientais vem sendo reconhecida há muito tempo, remontando a diversas conferências e encontros como a *Primeira Conferência Mundial de Meio Ambiente Humano* (1972) em Estocolmo na Suécia, também conhecida como a Conferência de Estocolmo, a *Conferência Intergovernamental de Educação Ambiental* (1977) em Tbilisi na Geórgia (ex-URSS) e a *Conferência das Nações Unidas para o Desenvolvimento Sustentável* (1992, 2012) realizada na cidade de Rio de Janeiro/Brasil, também conhecidas como Eco-92 e Rio+20 (Reigota, 2009, Dias, 2015).

A *Conferência Intergovernamental de Educação Ambiental* realizada em 1977 na cidade de Tbilisi é considerada como um dos eventos mais importantes já realizados no âmbito da temática da educação ambiental, sendo que muitas de suas recomendações ainda são consideradas pertinentes para os dias atuais (Gonzales-Gaudiano, 2005). A declaração do documento, fruto do congresso, apresenta o seguinte entendimento sobre a educação ambiental:

[...] a educação ambiental deve constituir um ensino geral permanente, reagindo às mudanças que se produzem num mundo em rápida evolução. Esse tipo de educação deve também possibilitar ao indivíduo compreender os principais problemas do mundo contemporâneo, proporcionando-lhe conhecimentos técnicos e as qualidades necessárias para desempenhar uma função produtiva visando à melhoria da vida e à proteção do meio ambiente, atendo-se aos valores éticos. Ao adotar um enfoque global, fundamentado numa ampla base interdisciplinar, a educação ambiental torna a criar uma perspectiva geral, dentro da qual se reconhece existir uma profunda interdependência entre o meio natural e o meio artificial. Essa educação contribui para que se exija a continuidade permanente que vincula os atos do presente às consequências do futuro; além disso, demonstra a interdependência entre as

comunidades nacionais e a necessária solidariedade entre todo o gênero humano<sup>1</sup>. (Unesco, 1977, p. 24).

A mesma ênfase no papel da educação no enfrentamento de problemas ambientais pode ser observada durante a realização da Eco-92 no Rio de Janeiro que passou a constituir um importante marco internacional na promoção da educação para o desenvolvimento sustentável<sup>2</sup>. Um dos resultados da Eco-92 foi a elaboração da *Agenda 21*, em que se pode ler no Capítulo 36:

O ensino tem fundamental importância na promoção do desenvolvimento sustentável e para aumentar a capacidade do povo para abordar questões de meio ambiente e desenvolvimento. [...] **O ensino é também fundamental para conferir consciência ambiental e ética, valores e atitudes, técnicas e comportamentos em consonância com o desenvolvimento sustentável e que favoreçam a participação pública efetiva nas tomadas de decisão**<sup>3</sup>. (Agenda 21, 1992, grifo nosso).

Em vista dessa crescente preocupação ambiental, tanto no Brasil como no Mundo, diversos marcos legais passaram a acentuar a preocupação com o meio ambiente. A proteção do meio ambiente, o combate à poluição, o direito a um meio ambiente equilibrado e a educação ambiental estão previstos na Constituição Federal de 1988<sup>4</sup>. Voltada ao tema das mudanças climáticas, a Lei 12.187/2009, que *Institui a Política Nacional de Mudança do Clima – PNMC e da outras providências*, destina-se exclusivamente às ações no âmbito da temática das mudanças climáticas. No campo da educação ambiental, a *Lei 9.795/1999*<sup>5</sup>

---

<sup>1</sup>Citação da tradução brasileira, disponível no portal do Ministério da Educação: <http://www.mma.gov.br/port/sdi/ea/deds/pdfs/decltblisi.pdf>

<sup>2</sup> Também com forte ênfase no papel da educação no enfrentamento da problemática ambiental, em 2012 a Rio+20 renovou o compromisso político com o desenvolvimento sustentável e, mais recentemente, a ONU lançou os 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável <https://sustainabledevelopment.un.org/?menu=1300>.

<sup>3</sup>Citação da versão brasileira, disponível no portal do Ministério da Educação: [http://www.mma.gov.br/estruturas/agenda21/\\_arquivos/cap36.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/agenda21/_arquivos/cap36.pdf)

<sup>4</sup> Com destaque aos artigos Art. 23<sup>o</sup> e Art. 225<sup>o</sup>: “Art. 23<sup>o</sup> É competência comum da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios: VI - proteger o meio ambiente e combater a poluição em qualquer de suas formas; VII - preservar as florestas, a fauna e a flora.(...) Art. 225<sup>o</sup> Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações. § 1<sup>o</sup> Para assegurar a efetividade desse direito, incumbe ao Poder Público: VI - promover a educação ambiental em todos os níveis de ensino e a conscientização pública para a preservação do meio ambiente”. [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/constituicao/constituicaocompilado.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicaocompilado.htm).

<sup>5</sup> Podemos ler nos artigos *Art. 2<sup>o</sup>* e *Art.11<sup>o</sup>*: “Art. 2<sup>o</sup> A educação ambiental é um componente essencial e permanente da educação nacional, devendo estar presente, de forma articulada, em todos os níveis e modalidades do processo educativo, em caráter formal e não-formal. (...) Art. 11<sup>o</sup> A dimensão ambiental deve constar dos currículos de formação de professores, em todos os níveis e em todas as disciplinas. Parágrafo único. Os professores em atividade devem receber formação complementar em suas áreas de atuação, com o propósito de

*Dispõe sobre a educação ambiental, institui a Política Nacional de Educação Ambiental e dá outras providências* tornou obrigatório o exercício da educação ambiental nas instituições de ensino em todos os níveis e modalidades, inclusive na formação de professores e formação continuada de professores em exercício. Complementando a lei 9.795/1999, a Resolução n.2 (2012) *Estabelece as Diretrizes Curriculares Nacionais para a Educação Ambiental* a serem observadas pelas instituições de ensino em todos os níveis, desde a educação básica, ensino superior e cursos de pós-graduação na prática da educação ambiental.

À parte das recomendações legais, a prática da educação ambiental constitui um desafio em si mesmo. A prática da educação ambiental requer um ensino interdisciplinar que enfatiza a integração de conteúdos, indo além dos limites de uma única disciplina, afirmando as relações entre a vida humana social e a vida da natureza e constituindo-se numa prática político-pedagógica transformadora e emancipatória, capaz de promover ética e a cidadania ambiental (Reigota, 2009).

Diversos são os temas e problemas ambientais que compõem a agenda da educação ambiental do século XXI como, por exemplo, o esgotamento de recursos naturais, destruição de ecossistemas, desmatamento, perda da biodiversidade, a alteração de ciclos biogeoquímicos, o destino de substâncias tóxicas, a poluição da água, ar e solo, as *mudanças climáticas* a fome e a pobreza (Tilbury, 1995; Dias, 2015; Miller, & Spoolman, 2015; Ripple, et al., 2017).

Dentre estes temas, a temática do aquecimento global e/ou mudanças climáticas é certamente uma das mais importantes<sup>6</sup>. O tema tem sido reconhecido por especialistas como prioritário, estando entre os maiores desafios globais a serem enfrentados pela humanidade<sup>7</sup>. Educadores ambientais têm apontado para o complexo desafio da educação em lidar com a problemática das mudanças climáticas, enfatizando a necessidade de formar futuros cidadãos ambientalmente responsáveis e preparados com conhecimentos e habilidades necessários para compreender e buscar soluções à essa questão (IALEI, 2009; Jacobi et al, 2011).

A presente pesquisa de doutorado se ocupa da temática do aquecimento global e/ou

---

atender adequadamente ao cumprimento dos princípios e objetivos da Política Nacional de Educação Ambiental". <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=321>

<sup>6</sup> Lembremos que o combate às mudanças climáticas está entre os 17 objetivos para o desenvolvimento sustentável postos pela ONU.

<sup>7</sup> Veja-se, por exemplo, os relatórios do IPCC (1996, 2001, 2013). O IPCC é uma criação conjunta da *World Meteorological Organization* (WMO) e da *United Nations Environmental Programme* (UNEP). Criado em 1988, é uma resposta da comunidade científica para lidar com as complexidades e desafios da área, seu objetivo é fornecer uma avaliação do conhecimento científico sobre as mudanças climáticas globais.

mudanças climáticas<sup>8</sup>. A temática do aquecimento global é altamente complexa e interdisciplinar e constitui o que vem sendo denominado na literatura de uma Questão Sociocientífica (QSC) ou Questão Sociocientífica Controversa (QSCC) (Sadler & Murakami, 2014; Kolsto, 2001). Questões Sociocientíficas (QSCs) podem ser definidas como sendo dilemas sociais com ligações conceituais e/ou tecnológicas com a ciência (Sadler & Murakami, 2014). As QSCs constituem um verdadeiro desafio para o ensino de Ciências, ao mesmo tempo, a sua inserção na sala de aula contemporânea é um imperativo, dada a necessidade do ensino de Ciências de se aproximar mais de questões relevantes e significativas do mundo real, no intuito de preparar os cidadãos para a capacidade de tomada de decisão (Tilbury, 1995).

De fato, a inclusão curricular de temas ambientais como o aquecimento global encontra farto espaço na classe de ciências (Sharma, 2012). A compreensão de conceitos científicos básicos, da física básica, constitui um passo importante para o tratamento de fenômenos como o efeito estufa e o aquecimento global. Neste sentido, a disciplina de Física constitui um campo de grande potencial para a efetiva inserção da temática em sala de aula. Contudo, apesar das recomendações previstas na legislação, parece haver uma lacuna curricular nos cursos de Licenciatura em Física relativa à temática da educação ambiental, em especial, de tópicos ambientais como as mudanças climáticas. Conseqüentemente, isto se propaga para a Educação Básica, pois o futuro professor, não se sentindo preparado, tenderá a não discutir esta temática, apesar das conexões desses temas com conteúdos como a Termodinâmica, Óptica, Eletromagnetismo e Física Moderna.

De certa forma, a Terra parece ser um objeto de estudo esquecido no ensino de Ciências. Pouca atenção é dada ao estudo do dinamismo do sistema terrestre, seus principais sistemas componentes (atmosfera, geosfera, hidrosfera, biosfera) e as interações e trocas de matéria e energia que ocorrem através e no interior desses sistemas. No contexto internacional a preocupação com essa lacuna curricular é antiga. Como observara Mayer (1995), é fundamental que o futuro cidadão compreenda o planeta dinâmico em que vive, contudo, segundo o autor, pouco está sendo feito nas escolas secundárias do mundo para familiarizar seus futuros cidadãos com os conceitos e processos do sistema terrestre (Ibid., p.380).

---

<sup>8</sup> Na presente tese, quando é feita referência ao “problema ambiental”, empregamos os termos “aquecimento global” e “mudanças climáticas” de modo intercambiável. Contudo, quando considerados como fenômenos, é importante fazer a distinção entre aquecimento global e mudanças climáticas. Assim, o primeiro diz respeito ao aumento da temperatura média do planeta Terra, decorrente das emissões de gases de efeito estufa; enquanto que as mudanças climáticas referem-se às alterações envolvendo não apenas a temperatura da atmosfera, mas também padrões de precipitação, nebulosidade, circulação atmosférica, etc.

Mais recentemente programas educacionais de países como a Austrália, Canadá, Dinamarca e China vêm apontando na direção da inserção da temática do aquecimento global e mudanças climáticas na sala de aula escolar<sup>9</sup> (IALEI, 2009; Jacobi, et al., 2011). Contudo, como discutido por Jacobi, et al. (2011), esse movimento de buscar uma identidade própria da *Educação para as Mudanças Climáticas (Climate Change Education)* ainda encontra-se em seu início.

Isso demonstra ser problemático, uma vez que pesquisas mostram que alunos do fundamental, do ensino médio e da graduação, inclusive professores do secundário formados ou em formação, apresentam diversos erros conceituais ou concepções alternativas sobre temas ambientais como efeito estufa e aquecimento global (Ratinen, 2013; Arslan, Cigdemoglu, Moseley, 2012; Niebert, Gropengiesser, 2014; Reinfried, Tempelman, 2014; Dawson, 2015).

Ao mesmo tempo, como já assinalado, temas ambientais complexos como aquecimento global impõem uma considerável demanda para o preparo do professor. Preparar professores para tratar de temas ambientais complexos envolve discutir conhecimentos de conteúdos relativos aos sistemas naturais e suas inter-relações com sistemas sociais, vivenciar a interdisciplinaridade, bem como, um reconhecer que problemas sociocientíficos como as mudanças climáticas não podem ser resolvidos apenas por meios tecnológicos ou científicos, mas requerem também o reconhecimento da dimensão social, ética, política e econômica para sua resolução (Moraes, 2014; Sharma, 2012).

Nesse sentido, é especialmente preocupante o fato de que nos cursos de licenciatura boa parte da tarefa de inserção da temática ambiental em sala de aula é deixada ao encargo do futuro professor durante sua carreira docente. Contudo, a lacuna existente em sua formação é potencialmente prejudicial para uma discussão adequada de tais temas em sala de aula. Apesar da boa vontade de professores em exercício, tempo e recursos muitas vezes não lhes permitem aprofundar determinados assuntos.

Diante deste cenário, nosso problema de pesquisa consiste em atacar a lacuna curricular no que diz respeito ao ensino da temática do aquecimento global na disciplina de Física, bem como, a busca por formas adequadas de inserir essa questão sociocientífica na formação de professores e, conseqüentemente, no ensino médio. Na medida em que há uma

---

<sup>9</sup> Nos Estados Unidos os *Next Generation of Science Standards – USA*, 2013, também parecem constituir um avanço neste sentido, fazendo menção direta à mudança climática no currículo escolar. Veja-se, por exemplo: <http://www.nextgenscience.org/dci-arrangement/hs-ess3-earth-and-human-activity>.

demanda pela inserção da educação ambiental nos diversos níveis de ensino, acreditamos que a pesquisa em ensino de física tenha contribuições a dar a este respeito.

Em vista disso, a presente tese pretende aprofundar conceitos e propor abordagens que contribuam para a inserção da questão sociocientífica do aquecimento global nas aulas de Física, voltada para a formação de professores de Física, com o fim de prepará-los para os desafios de sala de aula no século XXI. Os principais objetivos da pesquisa são:

- Fornecer subsídios teóricos para a introdução da temática na sala de aula de Física em cursos de licenciatura (Estudo 1);
- Identificar opiniões, concepções e entendimentos de licenciandos(as) e licenciados(as) em Física relativos à temática do aquecimento global e mudanças climáticas (Estudo 2);
- Avaliar os resultados de uma abordagem de ensino voltada para a temática do aquecimento global em uma turma de licenciatura em Física (Estudo 3)

Tendo em vista estes objetivos, as principais questões de pesquisa que estruturam o estudo são:

- Quais são alguns dos principais conceitos físicos, temas epistemológicos e debates históricos relacionados à temática do aquecimento global e necessários para a introdução da temática na sala de aula de Física em cursos de licenciatura?
- Quais as opiniões, concepções e entendimentos que licenciandos(as) e licenciados(as) em Física têm sobre a temática do aquecimento global e das mudanças climáticas?
- Quais os resultados de uma proposta pedagógica com ênfase na dimensão epistemológica, científica e histórica da temática do aquecimento global em uma turma de licenciatura em Física? Quais os discursos de licenciandos em Física sobre a ciência do aquecimento global no contexto das polêmicas envolvendo os cientistas céticos do clima?

Para responder a essas questões de pesquisa foram realizados estudos teóricos e empíricos, conforme passaremos a descrever a seguir, iniciando pelos capítulos iniciais de

revisão da literatura, referencial teórico e metodológico para, então, apresentar os três estudos realizados nos Capítulos 5, 6 e 7.

No Capítulo 2 é apresentada uma revisão de publicações em ensino de Ciências, nacionais e internacionais, voltadas para a temática do aquecimento global e mudanças climáticas. No contexto nacional, encontramos artigos voltados para a discussão da física básica do efeito estufa, bem como abordagens com enfoque em questões sociocientíficas, explorando os aspectos controversos do tema do aquecimento global. Por sua vez, no que tange às publicações em revistas estrangeiras, são discutidos artigos classificados dentro de três categorias: artigos que investigaram as concepções de professores e alunos sobre temas ambientais; artigos que desenvolvem abordagens didáticas de inserção do tema em sala de aula e artigos que realizam reflexões teóricas sobre o ensino de questões sociocientíficas.

O Capítulo 3 é dedicado a uma discussão sobre o ensino e aprendizagem de Questões Sociocientíficas (QSCs), abordando aspectos como a estruturação do ensino e aprendizagem de QSCs, a dimensão epistemológica das QSCs e a dimensão da aprendizagem no contexto das QSCs. A discussão teórica desse capítulo forneceu-nos a compreensão de que no ensino de questões sociocientíficas deve-se prestar atenção não apenas ao conteúdo científico envolvido, mas também ao conhecimento sobre a natureza da ciência. Neste sentido, as seções dedicadas à epistemologia da controvérsia científica, a questão da autonomia intelectual do aluno e a pergunta sobre “o que ensinar como controverso?”, trazem, a nosso ver, importantes reflexões, a partir da literatura, que devem ser consideradas pelos futuros professores na abordagem e instrumentalização desse tema complexo que é o aquecimento global.

No Capítulo 4 discutem-se os referenciais metodológicos e os delineamentos da pesquisa empregados na realização do Estudo 2 e Estudo 3. Em especial, apresentamos uma descrição dos principais aspectos das metodologias qualitativas de *estudo de caso* e da análise de conteúdo na perspectiva de Laurence Bardin (2004). Por fim, são apresentados alguns dos procedimentos da metodologia quantitativa, como da análise estatística, empregada na realização do Estudo 2.

Finalmente os capítulos 5, 6 e 7 descrevem os resultados obtidos nos três estudos realizados. O Estudo 1, apresentado no Capítulo 5, discute sob uma perspectiva teórica três dimensões relacionadas à temática do aquecimento global, a saber: a física básica do fenômeno do efeito estufa e aquecimento global, a história da ciência do aquecimento global e a natureza do consenso científico sobre aquecimento global antropogênico. Neste sentido, este estudo tem por finalidade fornecer subsídios teóricos, por meio de discussões conceituais e

históricas, que possam vir a ser desenvolvidos e instrumentalizados em cursos de formação de professores na disciplina de Física.

O Estudo 2, apresentado no Capítulo 6, descreve os resultados obtidos com a aplicação e validação de um questionário de pesquisa sobre opiniões e entendimentos de professores e licenciandos frente à temática do efeito estufa e aquecimento global (Apêndice A). Consideramos que os resultados deste estudo contribuem para lançar luz sobre as principais dificuldades, lacunas conceituais e entendimentos de professores formados e em formação frente a questão do aquecimento global. Neste sentido, este estudo também fornece orientações relevantes que podem ser levadas em consideração no desenvolvimento e implementação de atividades educacionais futuras sobre o tema.

Finalmente o Estudo 3, Capítulo 7, descreve e analisa os resultados de uma intervenção didática que envolveu a aplicação de uma sequência didática de quatro (4) encontros junto a uma turma de licenciatura em Física. Neste sentido, é feita a análise de conteúdo das respostas obtidas com a aplicação de pré e pó teste (Apêndice B e C), bem como os resultados das gravações de áudio dos quatro encontros. Apesar dos resultados obtidos neste estudo, como vemos no Capítulo 7, terem ficado ou pouco aquém do que fora esperado e planejado, consideramos que, em consonância com o Estudo 2, o Estudo 3 traz contribuições no sentido de identificar algumas das dificuldades manifestas no discurso dos licenciandos frente ao debate sobre aquecimento global. Neste sentido, fornece apontamentos para possíveis caminhos e melhorias que pode vir a ser adotadas em estudos futuros voltados para o ensino e aprendizagem da temática em sala de aula.

Com isso, fornecemos um panorama da pesquisa desenvolvida na presente tese, tendo em vista as questões de pesquisa que foram propostas como guia de investigação. Ao mesmo tempo, consideramos que a presente tese de pesquisa constitui mais um trabalho desenvolvido em âmbito nacional que busca uma articulação entre Educação Ambiental e Ensino de Ciências no âmbito da Questão Sociocientífica do Aquecimento Global e/ou Mudanças Climáticas, podendo contribuir, inclusive, na busca de uma identidade própria da *Educação para as Mudanças Climáticas*.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

A presente revisão da literatura ocupa-se exclusivamente de trabalhos que tratam da temática do efeito estufa, aquecimento global e mudanças climáticas no ensino de Ciências. Embora a presente revisão não constitua uma revisão sistemática, ela fornece um panorama razoável das publicações na área, especialmente de língua inglesa. Num primeiro momento (Seção 2.1), faremos uma breve apresentação de alguns trabalhos publicados em revistas nacionais que discutem a inserção dos temas efeito estufa, aquecimento global e mudanças climáticas no ensino de Ciências. Partiremos, então, para uma revisão mais criteriosa, situada no contexto das publicações internacionais (Seção 2.2), e que fornece um panorama do tipo de pesquisa realizada em ensino de Ciências voltado para a temática do aquecimento global e/ou mudanças climáticas.

### 2.1 Efeito estufa, aquecimento global e mudanças climáticas no contexto das publicações nacionais em ensino de Ciências

Voltado para o ensino de Ciências no contexto brasileiro, a partir de uma pesquisa utilizando o *Google Acadêmico*, encontramos trabalhos com enfoques variados, com a discussão da Física básica do aquecimento global, reflexões sobre o desafio da educação diante da questão climática e trabalhos que discutem o tema da perspectiva das questões sociocientíficas controversas. Estes últimos, em geral, sob a perspectiva CTS e CTSA (Ciência Tecnologia, Sociedade e Ambiente), preocupados com um ensino de Ciências mais reflexivo e sensível às questões da sociedade.

Iniciemos com os trabalhos que se ocupam com os aspectos da ciência básica envolvida para a compreensão do fenômeno do aquecimento global e, em especial, do fenômeno do efeito estufa. Aqui se pode mencionar trabalhos como de Lobato, et al. (2009), Xavier, e Kerr (2004), Creton, e Sthel (2011), Tolentino, e Rocha-Filho (1998), Pina, Silva, e Oliveira Júnior (2010) e Magalhães (2014).

Lobato, et al. (2009) analisaram o tratamento que é dado ao fenômeno do efeito estufa em livros didáticos de química. Os autores relatam a existência de lacunas conceituais presentes nos livros, envolvendo, inclusive, concepções “alternativas” como a de que a radiação solar é refletida na superfície terrestre e, então, retida na atmosfera (veja-se Capítulo 6). Num estudo similar, Xavier, e Kerr (2004), além de apresentarem uma discussão do

balanço radioativo Terra-Sol e do fenômeno do efeito estufa, também analisam o tratamento que é dado ao fenômeno de efeito estufa em materiais jornalísticos e em livros paradidáticos. De maior interesse aqui são os livros paradidáticos, onde os autores verificaram que boa parte dos materiais apresentam lacunas quanto a explicação científica do efeito estufa.

Voltados exclusivamente para uma discussão dos conceitos da Física e da Química envolvidos na explicação do efeito estufa e aquecimento global, temos os trabalhos de Pina, Silva, e Oliveira Júnior (2010), Magalhães (2014) e Tolentino, e Rocha-Filho (1998). Estes trabalhos abordam conceitos e tópicos como radiação de corpo negro, temperatura efetiva, gases de efeito estufa, espectro de emissão da Terra, forçante radiativa, etc. Contudo, é interessante notar que Pina, Silva, e Oliveira Júnior (2010) e Magalhães (2014), embora desenvolvam os conceitos da física básica do efeito estufa, mantém-se céticos com respeito ao aquecimento global antropogênico.

Por sua vez, Tolentino, e Rocha-Filho (1998) apresentam uma discussão da química dos gases de efeito estufa, em especial, da espectroscopia do infravermelho. Contudo, por ser uma publicação antiga, as observações sobre o aquecimento global feitas no artigo devem ser interpretadas para o contexto da época, uma vez que as pesquisas científicas sobre mudanças climáticas tiveram avanços nesses últimos 20 anos.

Ainda no contexto da discussão sobre a Física básica do efeito estufa e aquecimento global, é válido mencionar o livro de Creton, e Sthel (2011), que fornece uma descrição detalhada e didática dos principais conceitos científicos (da Física e da Química, em especial) necessários para compreender os fenômenos do efeito estufa e aquecimento global.

Voltado, agora, para uma reflexão sobre os desafios da educação diante do problema das mudanças climáticas, Jacobi, et al. (2011) fazem uma análise das práticas educativas sobre mudanças climáticas de diversos países, inclusive o Brasil, conforme é apresentado no relatório IALEI - *International Alliance of Leading Education Institutes* (2009). Diante dos desafios da educação para o século XXI frente às mudanças climáticas, os autores, em alusão a educação crítica e humanista de Paulo Freire (1996, 2018), destacam que “É necessário superar tanto o fatalismo quanto a inércia, como se os fatos refletissem um poder superior, resultando numa imobilidade, em que a realidade é vista como imutável” (Jacobi, et al., 2011, p.137). Ou seja, apontando para a necessidade de uma educação crítica que problematize a realidade e enfatize a capacidade do homem de transformar e buscar soluções para os problemas ambientais, em especial, a questão climática.

Com enfoque no tema das mudanças climáticas no contexto da educação ambiental, Reis e Silva (2016) analisaram teses e dissertações brasileiras buscando identificar as compreensões subjacentes sobre controvérsia e complexidade, inerentes ao tema das mudanças climáticas. Os autores descrevem a análise integral de onze dissertações entre 2003 e 2010, que foram classificadas por eles conforme o seu enfoque, de acordo com as categorias: *causas, consequências, mitigação e articulações entre educação ambiental e mudanças climáticas*. Com respeito à questão da causa do aquecimento global (se natural ou antropogênico), a pesquisa dos autores revela que existem discursos divergentes entre os autores das dissertações, enquanto alguns enfatizam os aspectos antropogênicos, outros destacam os fatores naturais, bem como aqueles que destacam ambos os fatores.

De fato, trabalhos que discutem os aspectos controversos das temáticas ambientais, incluindo o aquecimento global, têm recebido espaço nas publicações nacionais. Ribeiro, e Kawamura (2014) analisaram as publicações presentes nas Atas de três eventos nacionais, entre 2003 e 2012, da área de Ensino de Física e Ciências<sup>10</sup>, onde identificaram 28 trabalhos que associam questões controversas com questões ambientais, dentre elas, o aquecimento global.

No âmbito da discussão sobre controvérsias científicas e sociocientíficas, relacionado ao aquecimento global, destacam-se os trabalhos de Flôr-Vieira, e Bazzo, (2007) e Barbosa, Lima, e Machado (2012). Tais trabalhos enfatizam um ensino mais crítico em que o aluno é defrontado não com um conhecimento científico acabado, mas com um conhecimento em construção. Assim, ao explorar a dimensão controversa da questão sociocientífica 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, além de desenvolver a capacidade para lidar com problemas do mundo real.

O trabalho de Flôr Vieira, & Bazzo (2007) descreve o desenvolvimento de uma proposta de ensino na perspectiva CTS que emprega o *debate simulado* para abordar questões científicas em discussão na sociedade, em especial, a temática do aquecimento global. Por sua vez, Barbosa, Lima, & Machado (2012) analisaram as falas (vozes) de alunos do Ensino Médio, numa disciplina de química, no contexto da discussão sobre aquecimento global.

É interessante observar que, no que tange ao posicionamento frente à questão do

---

<sup>10</sup> São os eventos: EPEF (Encontro de Pesquisa em Ensino de Física), o SNEF (Simpósio Nacional de Ensino de Física) e o ENPEC (Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências).

consenso científico sobre aquecimento global antropogênico, os trabalhos de Flôr Vieira, & Bazzo (2007) e Barbosa, Lima, & Machado (2012) também assumem uma perspectiva distinta da que é adotada na presente tese, ou seja, concebem que aquecimento global antropogênico ainda é um tema de ampla disputa na comunidade científica (a este respeito consultar o Capítulo 5 da presente tese).

Com isso, podemos ter uma ideia geral das pesquisas nacionais desenvolvidas sobre o ensino da temática do aquecimento global, em especial, no contexto do ensino de Ciências e ensino de Física. Destacam-se as publicações voltadas para a Física básica do efeito estufa e aquecimento global, bem como os trabalhos voltados para a discussão de aspectos controversos com enfoque em questões sociocientíficas. Finalmente temos os trabalhos (Jacobi, et al., 2011) que refletem sobre o papel da educação no enfrentamento da problemática das mudanças climáticas.

## **2.2 Efeito estufa, aquecimento global e mudanças climáticas no contexto das publicações internacionais em ensino de Ciências**

Passaremos agora a apresentar trabalhos da área de ensino de Ciências que se ocupam da temática do aquecimento global no contexto das publicações em língua inglesa. A busca pelos trabalhos (artigos) foi feita na base de dados ERIC (*Education Resources Information Center*<sup>11</sup>) utilizando-se a combinação das seguintes palavras-chave: “*climate change*” and “*science education*”; “*global warming*” and “*science education*”; “*greenhouse effect*” and “*science education*”. Além disso, restringimos a busca para as publicações entre os anos de 2009 a 2017.

É importante notar que a presente revisão não teve a pretensão de cobrir todo o extenso volume de publicações voltados à temática no contexto internacional entre as datas de 2009 e 2017. Neste sentido, a seleção dos artigos ocorreu a partir da leitura dos resumos, atendo-nos aos trabalhos que foram julgados como sendo os mais relevantes no que tange aos aspectos conceituais da ciência envolvida na explicação dos fenômenos do efeito estufa e aquecimento global, bem como no que diz respeito à discussão e reflexão sobre propostas didáticas voltadas para a inserção do tema na sala de aula. Além disso, para restringir o escopo, não foram considerados artigos que abordam soluções à questão climática, ou seja, que abordam temas relacionados como: mudanças de estilo de vida, uso de energias

---

<sup>11</sup> Veja: <https://eric.ed.gov/>.

renováveis e sustentabilidade.

Com isso, foram selecionados e incorporados na presente revisão 33 artigos de língua inglesa. Para facilitar a organização da descrição, a revisão foi dividida nas seguintes classes de artigos: (1) trabalhos que abordam concepções e atitudes de professores e alunos sobre aquecimento global, efeito estufa e mudanças climática; (2) trabalhos que discutem o desenvolvimento de propostas didáticas para o ensino do aquecimento global, efeito estufa e mudanças climática; (3) trabalhos que fazem uma reflexão teórica sobre o ensino do aquecimento global e mudanças climáticas.

O Quadro 1 apresenta os trabalhos integralmente analisados de acordo com as categorias (1), (2) e (3). Como pode ser notado, a categoria (2) foi subdividida em: trabalhos que discutem modelos e a física básica do efeito estufa; trabalhos que fazem uso de argumentação e debate em sala de aula e propostas mistas que utilizam estratégias de ensino variadas. Nas seções seguintes passaremos a uma análise descritiva dos trabalhos listados em cada categoria do Quadro 2.1.

**Quadro 2.1:** Trabalhos analisados de acordo com as categorias (1), (2) e (3) no contexto das publicações internacionais em Ensino de Ciências.

CATEGORIAS		Nº. de Artigos	ARTIGOS
<b>Concepções e atitudes de professores e alunos</b>		10	Arslan, Cigdemoglu, & Moseley (2012) Dawson (2015) Lambert, Lindgren, & Bleicher (2012) Lombardi & Sinatra (2012) Niebert & Gropengiesser, (2014) Reinfried & Tempelman, (2014) Ratinen (2013) Lombardi & Sinatra (2013) McNeal, Petcovic, & Reeves (2017) Herman, Feldman, & Vernaza-Hernandez (2017)
<b>Propostas de Implementação Didática</b>	<b>Modelos e Física Básica do Efeito Estufa</b>	07	Besson, De Ambrosis, & Mascheretti (2010) Buxton (2014) Fukuhara, Kaneko, & Ogawa (2012) Nguyen & Matzner (2012) Onorato, Mascheretti, & De Ambrosis (2011) Tasquier, Levrini & Dillon (2016) Tasquier & Pongiglione (2017)

	<b>Uso do debate, argumentação e pensamento crítico</b>	05	Feierabend et al. (2012) Belova, Eilks, & Feierabend (2015) Albe & Gombert (2012) Lambert & Bleicher (2017) Lombardi et al. (2016)
	<b>Abordagens Mistas</b>	04	Karpudewan, Roth, & Bin Abdullah (2015) Arya & Maul (2016) Walsh & McGowan (2016) Bodzin & Fu (2014)
	<b>Reflexão teórica e questões sociocientíficas</b>	07	Bryce & Day (2014) Colucci-Gray (2014) Fensham (2014) Gautier (2012) Levinson (2012) Santos (2014) Sharma (2012)

### ***2.2.1 Concepções e atitudes de professores e alunos sobre as mudanças climáticas, aquecimento global e efeito estufa***

A temática das concepções e atitudes de professores e alunos sobre o meio ambiente e temas correlatos constitui um campo de pesquisa muito desenvolvido. Como observado por Moseley et al. (2010), professores possuem modelos mentais sobre o meio ambiente e levam esses modelos mentais para a sala de aula. Portanto, é importante que cursos de preparação de professores investiguem esses modelos e se necessário corrijam ou refinem os modelos “alternativos” que possuem.

Relacionado ao tema do aquecimento global e mudanças climáticas, diversos artigos têm revelado que, embora a maioria das pessoas educadas (estudantes de nível médio e graduação) já tenham tomado conhecimento através da mídia ou no ambiente escolar sobre a temática, poucos possuem uma compreensão conceitual adequada a esse respeito (Ratinen, 2013; Arslan, Cigdemoglu, & Moseley, 2012; Niebert & Gropengiesser 2014; Reinfried & Tempelman, 2014; Dawson, 2015).

De maneira geral, tais trabalhos adotam diferentes referenciais teóricos e metodológicos para acessar as concepções dos alunos e professores. No contexto da abordagem qualitativa de pesquisa, os autores fazem uso de entrevistas, gravações de aulas, mapas conceituais, intervenções com promoção de discussões em grupo, entre outras

metodologias qualitativas (Reinfried & Tempelmann, 2014; Niebert & Gropengiesser 2014). Outros trabalhos utilizam abordagens quantitativas com o emprego de testes de múltipla escolha para revelar erros conceituais (*misconceptions*) comuns sobre aquecimento global, efeito estufa, causas e consequências das mudanças climáticas e outros temas ambientais como a diminuição da camada de ozônio e chuva ácida (Arslan, Cigdemoglu, & Moseley, 2012; Lambert, Lindgren, & Bleicher, 2012). Outros trabalhos adotam metodologias mistas com uso de questionários abertos (*open-ended*) e fechados (*closed-form*) (Dawson, 2015; Ratinen, 2013).

Arslan et al. (2012) descrevem o desenvolvimento e validação de um teste de múltipla escolha (*Atmosphere related environmental problems diagnostic test - AREPDiT*) para mapear erros conceituais (*misconceptions*) comuns sobre aquecimento global, efeito estufa, diminuição da camada de ozônio e chuva ácida. O teste foi aplicado em 256 professores em formação (*preservice teachers*). Os resultados encontrados nos testes demonstram sérios erros conceituais dos professores em formação. A conclusão geral dos autores é de que aproximadamente a metade (42,9%) dos professores em formação apresentam falta de conhecimentos sobre questões ambientais ligadas à atmosfera.

Lambert, Lindgren e Bleicher (2012) investigaram o conhecimento de graduandos e graduados (incluindo professores em formação e professores formados - *preservice teachers e inservice teachers*) sobre as mudanças climáticas globais. O estudo contou com 255 participantes de duas universidades americanas, que cursavam um curso de ciência elementar, cujo currículo inclui o tópico das mudanças climáticas. Para avaliar o conhecimento dos alunos, foi aplicado um pré e um pós-teste (denominado “*Knowledge of Global Climate Change*” - KGCC) com questões de múltipla escolha e questões dissertativas. Os autores relatam erros e concepções alternativas como a não diferenciação dos tipos de radiação, IR, UV e visível; considerar que o buraco do ozônio tem relação com o efeito estufa; não diferenciar entre o efeito estufa natural e o aumento do efeito estufa produzido pela emissão de gases provenientes de combustíveis fósseis; equiparar poluição atmosférica com gases de efeito estufa. Para os autores, tais resultados se devem, em parte, à falta de treinamento ou conhecimento prévio dos alunos em disciplinas científicas básicas, como a física e as ciências da Terra.

Niebert e Gropengiesser (2014) realizaram uma pesquisa com 35 estudantes do secundário. Os autores analisaram as concepções dos estudantes sobre o aquecimento global e as compararam com as concepções dos cientistas encontradas em livros específicos da área.

Os autores puderam identificar que as concepções de alunos e de cientistas têm o mesmo esquema de origem, a saber, a comparação da atmosfera a um “compartimento fechado” (*container eschema*). Contudo, alunos e cientistas fizeram usos distintos do seu esquema para explicar o efeito estufa. As explicações mais comuns dos alunos foram classificadas em duas classes: (1) o aquecimento é devido a uma maior entrada de radiação (*warming by more input*); (2) aquecimento é devido a menos saída de radiação (*warming by less output*). Já uma terceira classe de explicação é empregada por cientistas, a saber: (3) o aquecimento ocorre devido a um novo equilíbrio (*warming by a new equilibrium*). Esta classe de explicação emprega não apenas o “*container eschema*”, mas também um segundo esquema, denominado de “balanço” (*balance eschema*). A partir destes resultados foram identificadas demandas de aprendizado sobre as quais os autores implementaram algumas sugestões de como abordar o tópico em sala de aula. Assim, os autores argumentam que para uma compreensão adequada do efeito estufa é importante a realização de atividades que envolvam a realização de experiências em sala de aula.

Reinfried e Tempelmann (2014) estudaram a evolução dos modelos mentais de 14 estudantes do secundário sobre o efeito estufa num ambiente de ensino otimizado pelos pesquisadores em que o aluno é confrontado com uma descrição prévia e com um experimento didático<sup>12</sup> que ilustra o fenômeno do efeito estufa. Usando entrevistas, gravações de aulas e mapas conceituais os autores identificaram três tipos de concepções prévias dos estudantes: (1) conhecimento fragmentado<sup>13</sup>; (2) aquecimento devido a menos saída de radiação (*warming by less output*) e (3) aquecimento devido a uma maior entrada de radiação (*warming by more input*) (Ibid., p.316).

Para Reinfried e Tempelmann (2014, p. 324) e de modo similar para Niebert e Gropengiesser (2014), as concepções prévias dos alunos têm uma influência significativa sobre o modo como o novo conhecimento é construído. Por exemplo, alunos que possuem o terceiro tipo de concepção têm sérias dificuldades de compreender o efeito estufa. Isso por que tais estudantes precisam construir um modelo mental radicalmente novo e diferente para poderem compreender a explicação científica do efeito estufa. De modo geral, a conclusão dos autores é de que as dificuldades para compreender o mecanismo do efeito estufa se

---

<sup>12</sup> Neste ponto os autores fizeram uso de histórias em quadrinhos, bem como de um experimento didático do efeito estufa (ver “Greenhouse Effect” em <http://www.demoex.ch/?Produkte>).

<sup>13</sup> Alunos com concepções sobre ideias, ou fatos singulares, sem conexão. Em explicações do efeito estufa, fazem uso simultâneo de “coisas” tão distintas como a estufa de jardineiro, a camada de ozônio e o movimento de placas tectônicas (Reinfried & Tempelmann, 2014, p.316).

devem, em boa parte, ao fato de que este é um fenômeno que não é percebido pelos sentidos, mas que requer um modelo molecular abstrato para sua compreensão. Ao invés do modelo molecular, concepções de senso comum tendem a dominar explicações sobre o efeito estufa, mesmo após a instrução em classe.

Lombardi e Sinatra (2012) estudaram as concepções de 83 alunos de uma Universidade americana que frequentavam cursos de Geografia Física e cursos introdutórios sobre aquecimento global. Foram empregados questionários com questões fechadas e escala *likert* sobre os tópicos: (a) entendimento das distinções entre tempo meteorológico e clima; (b) entendimento do tempo geológico ou tempo profundo (*deep time*) e (c) julgamentos de plausibilidade sobre a influência humana no clima. A conclusão dos autores é de que o entendimento sobre a distinção entre tempo meteorológico e clima possui uma correlação positiva com a percepção de plausibilidade dos alunos frente à causa antropogênica das mudanças climáticas.

Ratinen (2013) investigou as concepções de professores em formação para o nível primário, na Finlândia, aplicando questionários abertos e fechados com 275 alunos do segundo ano de formação de professores. Nas questões abertas apenas 4% dos participantes responderam corretamente que a Terra é um planeta com vida porque o efeito estufa permite temperaturas relativamente estáveis. Por outro lado, nas questões fechadas 96,6 % concordaram com a afirmação de que um aumento de efeito estufa aumenta a temperatura da Terra. Poucos alunos (12%) responderam, nas questões abertas, que o efeito estufa e o aquecimento do clima é causado por gases específicos como o dióxido de carbono, o metano e o CFCs. Novamente nas questões fechadas, 84% presumiram que o CFC é também um gás estufa, 79 % de que o metano contribui para a mudança climática, mas apenas 37 % responderam de que o óxido de nitrogênio tem o mesmo papel. Para o autor, essa diferença entre as respostas das análises qualitativas e quantitativas indica a importância de se realizar estudos com metodologia mista. A conclusão do autor é de que embora os alunos compreendam que os gases estufa interceptam a radiação reemitida da Terra, eles não compreendem os mecanismos pelos quais isso ocorre e, desse modo, não são capazes de formular explicações mais aprofundadas para o fenômeno. Ou seja, a sua compreensão dos processos atmosféricos é incompleta.

Dawson (2015) examinou a compreensão de alunos do secundário da Austrália sobre os fenômenos do efeito estufa e mudança climática. O autor aplicou um questionário de questões abertas a 438 estudantes de seis escolas australianas, alunos entre 14 e 15 anos. Além

do questionário, o autor também entrevistou 20 dos estudantes participantes. Similarmente aos outros autores já discutidos, o autor identificou cinco categorias de concepções alternativas, a saber: (1) o efeito estufa e a camada de ozônio; (2) tipos de gases estufa; (3) tipos de radiação; (4) tempo (*weather*) e clima (*climate*); (5) poluição do ar (Ibid., p.1039). Entre os resultados da pesquisa de Dawson (2015) podemos destacar aqueles relativos às perguntas “o que é o efeito estufa?” e “o que é a mudança climática?”. No que se refere à primeira pergunta o autor identificou 286 concepções alternativas expressas por 198 alunos, sendo que cada aluno apresentou pelo menos uma concepção alternativa. Por sua vez, relativo à segunda questão, foram identificadas 140 concepções alternativas expressas por 111 alunos, com ao menos uma concepção alternativa por aluno.

Herman, Feldman e Vernaza-Hernandez (2017) avaliaram o conhecimento sobre mudanças climáticas (definição das mudanças climáticas, causas das mudanças climáticas e natureza da ciência do clima) de professores do ensino médio da Flórida (102 professores) e Porto Rico (118 professores) usando questionários com questões abertas e com escala *Likert*. Os autores concluíram que apenas 14% dos professores da Flórida e 4% de Porto Rico oferecem uma definição correta das mudanças climáticas. Relativo às causas das mudanças climáticas, todos os professores de Porto Rico e 70% dos professores da Flórida consideram erroneamente que o buraco de ozônio contribui para as mudanças climáticas. Professores exibem igualmente uma visão equivocada da natureza da ciência do clima, pois consideram que a ciência do clima faz uso de experimentos controlados que podem ser manipulados em laboratórios. Como observam os autores, essa visão da natureza da ciência é comum a determinadas áreas da Física, Química e Biologia Molecular, etc. e gera problemas quando estendida à ciência do clima, pois pode levar os estudantes a duvidar ou colocar em questão a legitimidade da ciência do clima, especialmente quando estes estudantes se deparam com “céticos” que alegam que a ciência do clima é apenas especulativa, já que não pode ser verificada pelo método experimental (Herman, Feldman, & Vernaza-Hernandez, 2017; Rudolph, 2007). Isto significa que um ensino voltado para a natureza da ciência no contexto da ciência climática deve enfatizar que existem outras áreas da ciência onde não é possível a realização de experimentos controlados e onde é feito uso de evidência indireta, raciocínio estatístico e de modelos.

Outros trabalhos se ocuparam em investigar as motivações, valores e sentimentos de professores com relação à temática das mudanças climáticas. Usando a metodologia dos grupos focais McNeal, Petcovic, & Reeves (2017) investigaram as motivações de professores

para adotar o ensino das mudanças climáticas. Os autores concluíram que o interesse no ambientalismo e o maior nível de conhecimento científico relacionado ao tema está diretamente associado ao endosso da posição consensual da comunidade científica sobre as mudanças climáticas.

Lombardi e Sinatra (2013) realizaram um estudo por meio de questionário, entrevistas e observação em classe para acessar às emoções de professores relativas ao tópico das mudanças climáticas. Segundo os autores, emoções podem surgir em sala essencialmente por causa de três fatores: devido à interação professor-aluno, devido a atividades que envolvam metas a serem alcançadas (provas, por exemplo), ou ainda, devido ao tópico de instrução. Os autores concluíram que emoções como a raiva (*anger*) afetam negativamente a percepção de plausibilidade dos professores sobre a mudança climática, enquanto que emoções como a desesperança (*hopeless*) afeta positivamente a percepção de plausibilidade. Assim, na medida em que existe o risco de professores trazerem tais emoções para dentro da classe, inevitavelmente existe o risco de ocorrerem prejuízos no ensino. Os autores sugerem que os professores sejam encorajados a refletir sobre como as emoções influenciam seu entendimento sobre os princípios científicos que subjazem o presente tema. Da mesma forma, professores também devem encorajar seus alunos a avaliar novas informações, que são confrontadas com suas crenças prévias, de modo que seus juízos de plausibilidade não sejam prejudicados tendenciosamente por emoções adversas que estes possam ter. Para Lombardi e Sinatra (2013), seria de grande auxílio que professores tomem em consideração a importância da “mente aberta” (*open-mindedness*) e do “pensamento crítico” (*critical thinking*) antes de propor um módulo de ensino sobre o assunto. Tais atitudes reflexivas poderão permitir novas avaliações de plausibilidade e conseqüentemente facilitar mudanças conceituais em professores e alunos sobre a temática.

A partir desses trabalhos analisados, podemos, agora, classificar as principais concepções alternativas mapeadas de acordo com algumas categorias temáticas identificadas. Lembrando que entre o público-alvo dessas pesquisas encontram-se alunos do secundário, estudantes de graduação e professores em exercício.

Entre tais categorias temos:

1. *Efeito estufa e gases estufa*: trabalhos têm apontado para a dificuldade dos alunos em identificar os principais gases estufa, como o dióxido de carbono, metano, vapor d'água, CFC e óxido nitroso. Tais alunos também não compreendem os mecanismos de absorção da radiação IR por parte das moléculas dos respectivos gases (Ratinen, 2013; Dawson, 2015).

2. *Efeito estufa e buraco do ozônio*: uma concepção alternativa muito comum entre alunos é de que os gases de efeito estufa causam o buraco na camada de ozônio<sup>14</sup> (Ratinen, 2013; Dawson, 2015), ou ainda, de que o buraco na camada de ozônio é o responsável pelo aquecimento global (Arslan, Cigdemoglu, & Moseley, 2012; Lambert, Lindgren, & Bleicher, 2012). Alunos podem, por exemplo, considerar que o buraco na camada de ozônio deixa entrar mais radiação solar aquecendo a Terra (Niebert & Gropengiesser, 2014, p.287; Dawson, 2015, p.11). Ou seja, não fazem uma distinção conceitual adequada entre o papel da camada de ozônio e o efeito estufa.

3. *Efeito estufa e balanço de energia*: muitos alunos explicam o efeito estufa através da ideia de que o aquecimento é devido a uma maior entrada de radiação. Neste caso, o responsável pelo aquecimento é ou o Sol (aumento da radiação solar) ou o buraco do ozônio (maior entrada de radiação) (Reinfried & Tempelmann, 2014, p.316). Alunos também consideram que o aquecimento é devido a menos saída de radiação. Neste caso, o efeito estufa é comparado à estufa de jardineiro<sup>15</sup>. Contudo, tais explicações contrastam com a de cientistas, para os quais o aquecimento ocorre devido a um novo equilíbrio radioativo<sup>16</sup> (Niebert & Gropengiesser, 2014, p.287).

4. *Efeito estufa natural e antropogênico*: muitos alunos consideram que o efeito estufa é um fenômeno totalmente prejudicial para a humanidade, neste caso, não reconhecem que este é um fenômeno natural que faz com que a Terra tenha temperaturas propícias ao desenvolvimento da vida (Arslan, Cigdemoglu, & Moseley, 2012; Ratinen, 2013). Alunos também não diferenciam entre o efeito estufa natural e o aumento do efeito estufa produzido pela emissão de gases provenientes de combustíveis fósseis (Arslan, Cigdemoglu, & Moseley, 2012, p.1981; Lambert, Lindgren, & Bleicher, 2012).

---

<sup>14</sup> A exceção do CFC que é um gás estufa e ao mesmo tempo é um dos principais gases que destroem a camada de ozônio.

<sup>15</sup> Embora essa comparação seja usual, inclusive em livros textos, sabe-se, contudo, que o mecanismo de aquecimento predominante na estufa de jardineiro é o da convecção e não a absorção da radiação reemitida do solo. Embora a radiação também esteja presente seu papel no aquecimento é mínimo quando comparado ao aquecimento por convecção (Brian Shmaefsky. “Demonstrating the greenhouse effect: illustrating variations on an atmospheric phenomenon”. NSTA Press, 2004). Por sua vez, no efeito estufa atmosférico o aquecimento se dá principalmente devido a radiação reemitida da superfície terrestre que ocorre na faixa do infravermelho, onde gases estufa como o dióxido de carbono são ativos. Além disso, o problema com a metáfora da estufa de jardineiro é de que ela desconsidera a complexidade da atmosfera terrestre, bem como os mecanismos de interação entre radiação e matéria ao nível molecular (Ratinen, 2013, p.942).

<sup>16</sup> Neste caso, cientistas preferem empregar a analogia com a “banheira” (bathtub) (Niebert & Gropengiesser, 2014, p.287). Assim, quando mais água entra (análogo a radiação solar entrando) do que sai pelo ralo (análogo da radiação IR bloqueada pelos gases estufa) o nível da banheira sobe e atinge um novo equilíbrio, ou seja, a Terra aquece para atingir o equilíbrio radioativo.

5. *Aquecimento global e radiação solar*: como já observado, muitos alunos atribuem o aquecimento global a uma maior entrada de radiação solar, seja por um aumento da radiação solar incidente ou devido ao buraco da camada de ozônio (Niebert & Gropengiesser, 2014, p.287). Alunos inclusive consideram que a radiação solar incidente é absorvida pelos gases estufa na atmosfera (Lambert, Lindgren & Bleicher, 2012).

6. *Radiação UV e IR*: vários estudos indicam que os alunos não diferenciam adequadamente entre a radiação IR, UV e visível e poucos alunos compreendem com segurança que a radiação IR é uma peça chave da explicação do efeito estufa atmosférico (Lambert, Lindgren & Bleicher, 2012; Dawson; 2015; Ratinen, 2013).

7. *Distinção entre tempo meteorológico e clima*: uma concepção comum entre alunos é não distinguir adequadamente entre “tempo meteorológico” e “clima”. Assim, os alunos podem ser levados a inferir conclusões sobre o clima a partir de eventos meteorológicos locais (Dawson, 2015; Lambert, Lindgren, & Bleicher, 2012; Lombardi & Sinatra, 2012).

Vemos assim, que há consideráveis lacunas de conhecimento e muito espaço para o ensino e aprendizagem sobre o tema. Ao mesmo tempo, a presença dessas concepções prévias sobre o efeito estufa e o aquecimento global apresenta desafios para o ensino do tema, isso por que tais concepções prévias influenciam o aprendizado dos alunos sobre o assunto. Dessa forma, a pesquisa sobre o tópico constitui um importante auxílio para futuros planejamentos curriculares e elaboração de materiais didáticos sobre a temática.

### ***2.2.2 Trabalhos que discutem o desenvolvimento de propostas didáticas para o ensino do aquecimento global, efeito estufa e mudanças climática***

Diversos trabalhos têm se dedicado à elaboração e implementação de estratégias de ensino sobre o tema do aquecimento global, efeito estufa e mudanças climáticas. A análise de tais trabalhos permitiu identificar diferentes abordagens abarcando desde a ênfase na física básica do efeito estufa, o uso de atividades experimentais, a formulação de modelos teóricos, a interdisciplinaridade e o uso do debate e argumentação no ensino da temática. Para facilitar a análise, os trabalhos foram divididos em dois grupos: (a) trabalhos com ênfase na física básica do efeito estufa, atividades experimentais e uso de modelos; (b) trabalhos com ênfase no uso do debate e argumentação e (3) abordagens mistas que empregam múltiplos recursos e estratégias de ensino.

### 2.2.2.1 Física básica do efeito estufa: atividades experimentais e uso de modelos

Besson, De Ambrosis e Mascheretti (2010) apresentam uma detalhada discussão sobre um módulo didático que trata da física básica subjacente ao aquecimento global. Para os autores, grande parte da discussão sobre o tema do aquecimento global tem sido feita numa abordagem sociocientífica que, embora não menos importante, muitas vezes negligencia a base física do fenômeno tratado conhecimento este considerado por muitos pesquisadores como fornecedor de bases mais consistentes em uma educação científica para a cidadania e para a tomada de decisões conscientes, especialmente com relação à preservação ambiental do Planeta. Dessa forma, os autores destacam a necessidade de se abordar a ciência básica subjacente ao aquecimento global. Para eles, a melhor maneira de abordar tópicos complexos como o efeito estufa e o aquecimento global é proceder gradualmente, focando progressivamente em cada tópico de física envolvido. O módulo de ensino desenvolvido pelos autores inclui aulas expositivas, atividades de laboratório e atividades ao ar livre (*outdoor activities*). O conteúdo do módulo versa principalmente sobre a interação entre radiação e matéria, conectando óptica e termodinâmica, abordando conceitos básicos como calor, temperatura, trabalho, energia interna e, posteriormente, conceitos como o espectro eletromagnético, radiação infravermelha, absorção, reflexão e transmissão da radiação, estrutura da matéria, espectro de emissão e absorção, gases estufa, lei de Stefan-Boltzmann e lei de Wien.

Tasquier, Levrini e Dillon (2016) testaram um módulo de ensino sobre mudanças climáticas com ênfase na modelagem científica que foi aplicado a 28 alunos de 11 a 16 anos. O módulo iniciou por uma discussão da ciência do clima, a complexidade do sistema climático e da modelagem neste contexto. Em seguida foram discutidos conceitos de física básica (radiação eletromagnética, absorção, reflexão e transmissão de radiação, etc.) aliados a experimentação<sup>17</sup>, passando para a elaboração de um modelo teórico do efeito estufa da Terra em que: a Terra é modelada como sendo um corpo negro; a atmosfera como uma única camada uniforme e homogênea (por exemplo, como uma lâmina de vidro ou filme de plástico) e a radiação como tendo em média apenas dois comprimentos de onda (o visível e o infravermelho) aos quais estão relacionados apenas dois valores de absorvância atmosférica. Neste contexto, os autores dão destaque à discussão epistemológica sobre o papel dos

---

<sup>17</sup> Esta parte do módulo é fortemente inspirada no trabalho de Besson, De Ambrosis e Mascheretti (2010), citado por Tasquier, Levrini e Dillon (2016).

modelos, à função dos modelos como ferramenta preditiva e à relação entre modelo, experimento e realidade, bem como, às complexidades (mecanismos de *feedback*) características de sistemas dinâmicos como o clima. Com base nos resultados de questionários (antes, durante e após da intervenção) os autores concluíram que a discussão epistemológica sobre modelagem na ciência (e na ciência climática, em particular) oferece um grande potencial para fomentar a compreensão de conteúdos científicos, inclusive os da área climática.

O mesmo módulo foi novamente aplicado por Tasquier e Pongiglione (2017), agora no intuito de testar a hipótese de que o conhecimento científico sobre as relações causais da dinâmica climática pode fazer com que as pessoas compreendam o seu papel interativo dentro do ambiente e passem a adotar uma atitude positiva para mitigar a mudança do clima. Após a intervenção didática e a análise dos dados coletados através de questionários, os autores obtiveram uma correlação positiva entre o nível de conhecimento sobre a dinâmica climática e uma atitude positiva frente ao meio ambiente.

Um tema bastante comum dos trabalhos que discutem a física básica do efeito estufa é o uso de atividades experimentais para abordar o efeito estufa (Besson, De Ambrosis & Mascheretti, 2010; Buxton, 2014; Fukuhara, Kaneko & Ogawa, 2012; Nguyen & Matzner, 2012).

Gavin Buxton (2014) enfatiza a importância de se demonstrar publicamente, através de experimentos, a maneira como um gás estufa pode elevar a temperatura através da absorção de radiação infravermelha. O autor discute formas de implementação de um experimento clássico para demonstrar o papel ativo do dióxido de carbono e, conseqüentemente, o efeito estufa. O experimento envolve observar, durante a exposição ao Sol, o comportamento da temperatura dentro de um reservatório contendo dióxido de carbono e compará-la com a temperatura observada, sob as mesmas condições, em outro reservatório contendo apenas ar. Um experimento equivalente, que consiste em monitorar a temperatura de um reservatório de plástico contendo dióxido de carbono exposto à radiação de uma lâmpada, é empregado por Besson, De Ambrosis e Mascheretti (2010).

Nguyen e Matzner (2012) discutem um experimento constituído de uma esfera de tungstênio envolta por uma casca de vidro esférica de diâmetro maior e entre as quais é produzido vácuo. O aparato é então submetido à radiação solar ao longo do eixo Z e sua temperatura interna é monitorada. O artigo destes autores é bastante sofisticado e se propõe a uma modelagem matemática da distribuição de temperatura dentro da casaca esférica de

vidro. Consideramos que, em face de sua sofisticação matemática, o artigo não é adequado para o nível secundário, sendo mais apropriado em cursos avançados de graduação e pós-graduação. Desta forma, poderia, por exemplo, ser utilizado na formação inicial de professores.

Outro experimento para demonstrar o papel ativo de gases estufa na faixa do infravermelho é discutido no trabalho de Fukuhara, Kaneko e Ogawa (2012), cujo objetivo é propor um modelo matemático equivalente a um circuito RC para um experimento fotoacústico do efeito estufa desenvolvido por Kaneko et al. (2010)<sup>18</sup>. O artigo dos autores é também bastante sofisticado, envolvendo uma matemática mais avançada, sendo deste modo apenas tratável em nível universitário ou pós-graduação. O experimento fotoacústico descrito por Kaneko et al. (2010) faz uso de uma célula de gás, uma fonte de luz infravermelha, um modulador do sinal infravermelho, microfone e osciloscópio. Ao passar pelo gás estufa (CO<sub>2</sub>, metano ou vapor d'água) o pulso de infravermelho é absorvido pelo gás e convertido parcialmente em energia vibracional das moléculas, aumentando a temperatura do gás. Como consequência, surgem oscilações de pressão na forma de ondas sonoras que podem, então, ser detectadas através de um microfone ligado a um osciloscópio ou caixa de som. O interessante neste experimento é verificar que apenas gases estufa, ativos na faixa do infravermelho, produzem o fenômeno fotoacústico.

Outros trabalhos que discutem o uso de modelos o fazem sem o enfoque epistemológico da modelagem científica. Tais trabalhos concentram-se na discussão do chamado modelo de linha (*layer model*) e na discussão sobre o “balanço de energia da Terra<sup>19</sup> (Buxton, 2014; Besson, De Ambrosis, & Mascheretti, 2010; Onorato, Mascheretti, & De Ambrosis, 2011; Nguyen & Matzner, 2012).

O modelo de linha é uma espécie de ferramenta didática, cuja principal função é permitir uma melhor compreensão do funcionamento do sistema climático da Terra. Como destaca Archer (2012, p.19) “Compreender o modelo de linha não nos permitirá fazer previsões detalhadas do clima futuro, porém não se pode compreender o funcionamento do

---

<sup>18</sup> O experimento fotoacústico descrito por Kaneko et al. (2010) faz uso de uma célula de gás, uma fonte de luz infravermelha, um modulador do sinal infravermelho, microfone e osciloscópio. Ao passar pelo gás estufa (CO<sub>2</sub>, metano ou vapor d'água) o pulso de infravermelho é absorvido pelo gás e convertido parcialmente em energia vibracional das moléculas, aumentando a temperatura do gás. Como consequência, surgem oscilações de pressão na forma de ondas sonoras que podem então ser detectadas através de um microfone ligado a um osciloscópio ou caixa de som. O interessante neste experimento é verificar que apenas gases estufa, ativos na faixa do infravermelho, produzem o fenômeno fotoacústico.

<sup>19</sup> Sobre o Balanço de Energia é possível aprofundar o entendimento no texto de Trenberth, Fasullo e Kiehl (2009). *Earth's Global Energy Budget. Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 90, p.311–323.

sistema climático real sem compreender o modelo de linha”<sup>20</sup>.

Onorato, Mascheretti e De Ambrosis (2011) realizam uma ampla discussão quantitativa sobre os balanços de radiação e equilíbrio termodinâmico do planeta, destinada ao público universitário e a professores de Física, abordando conceitos como a constante solar, albedo, absorção e emissão atmosférica e terrestre, para finalmente aplicar o modelo de linha à atmosfera terrestre. Além de deduzir expressões como a de equilíbrio da Terra  $T_e^4 = I(1-\alpha)/4\sigma$ , os autores discutem formas de abordagem da temática que permitem fazer comparativos entre o efeito estufa de diferentes planetas como Mercúrio, Vênus, Marte e a Terra. Por sua vez, ao passo que Onorato, Mascheretti e De Ambrosis (2011) discutem o modelo de linha para a atmosfera dos planetas, Besson, De Ambrosis e Mascheretti (2010), Buxton (2014) e Nguyen e Matzner (2012) discutem o modelo de linha aplicado aos experimentos didáticos de efeito estufa que estes realizaram.

Esta etapa da revisão permite verificar que existem experimentos, alguns mais sofisticados e outros factíveis em nível de Ensino Médio, assim como modelos científicos que podem ser apresentados e discutidos com os estudantes visando facilitar sua compreensão da física associada ao efeito estufa e ao sistema climático da Terra, de forma a se alcançar uma educação científica consistente e capaz de formar cidadãos mais conscientes de seu papel na sociedade.

#### 2.2.2.2 *Debate, argumentação e pensamento crítico no ensino de mudanças climáticas*

Nesta seção são relatadas aquelas propostas didáticas que fazem uso do debate, da argumentação e do pensamento crítico como metodologia de ensino da temática do aquecimento global e mudanças climáticas. Tais abordagens compartilham a ideia de uma educação científica voltada para a cidadania e que exercite a capacidade dos alunos para a tomada de decisão diante de dilemas sociais como as questões sociocientíficas.

Feierabend et al. (2012) testaram um módulo de ensino “*Climate change before the court*” com lições distribuídas em quatro áreas (Biologia, Física, Química e Política), empregando a abordagem de ensino por *role-play* para avaliar a qualidade dos argumentos de

---

<sup>20</sup> Uma breve discussão do modelo de linha é feita no texto (artigo) do Apêndice II da presente qualificação. Uma discussão mais detalhada pode ser encontrada em Taylor (2005) e Archer (2012).

estudantes de ensino médio. O mesmo módulo, *Climate change before the court*, foi testado por Belova, Eilks e Feierabend (2015) para fomentar as habilidades argumentativas e a capacidade de decisão dos alunos. Estes últimos autores concluíram que apenas um terço das atividades *role-play* e um terço dos argumentos desenvolvidos nas atividades eram de boa qualidade e complexidade, além de fazerem pouca referência à ciência envolvida. Apesar disso, os autores consideram que a atividade *role-play* tem o mérito de permitir a reprodução em sala de aula de debates sociais e políticos sobre temas relevantes do mundo real.

De modo similar, Albe e Gombert (2012) analisaram a natureza da discussão dos estudantes em uma sequência de ensino interdisciplinar com o uso de uma atividade *role-play* denominada “conferência cidadã” (*citizens conference*) em que doze alunos foram divididos em grupos de cientistas (pró e contra aquecimento global) e cidadãos para debater a questão do aquecimento global. Os autores concluíram que tal abordagem não apenas permitiu a prática argumentativa em sala de aula como também, foi frutífera para encorajar os alunos a participar como cidadãos na tomada de decisões envolvendo questões sociocientíficas.

Lambert e Bleicher (2017) destacam a importância de abordar em sala de aula as concepções alternativas, os erros conceituais e “desinformações” circulantes sobre a temática do aquecimento global e comuns entre o público leigo. Para tanto, os autores empregaram um modelo argumentativo denominado pelos autores de “refutational scientific argumentation framework”. Este modelo de argumentação toma por base os estudos relacionados a “textos refutacionais”, cujo aspecto central consiste em construir uma argumentação que refuta determinada alegação não científica ou equivocada. A conclusão dos autores foi de que o uso de textos refutacionais e o processo de argumentação que isto envolve contribui para o aprendizado dos alunos sobre a ciência do aquecimento global, bem como sobre a elucidação da plausibilidade ou não plausibilidade das alegações céticas.

Lombardi et al. (2016) enfatizam a importância do “pensamento crítico” (*critical thinking*) no ensino de temas complexos como aquecimento global. Os autores empregaram um “scaffold” denominado “model-evidence link” (MEL) no intuito de fomentar o pensamento crítico, levando os alunos a se engajarem num processo de “avaliação crítica” de hipóteses competidoras sobre a explicação das causas do aquecimento global. Segundo os autores, o emprego do *scaffold* MEL contribuiu para fomentar a percepção de plausibilidade dos alunos relativa à causa antropogênica das mudanças climáticas, acentuando a importância de discutir e confrontar explicitamente, em sala de aula, hipóteses e argumentos rivais sobre o fenômeno em questão.

Estas estratégias têm, como se pôde ver, um viés epistemológico, reflexivo e fomenta a tomada de decisões levando os alunos a se posicionarem frente às mudanças climáticas. Por isso, naturalmente são associadas à educação para a cidadania, que é um princípio que há décadas está presente nos documentos oficiais brasileiros (LDB, 1996, PCNEM, 2000).

### 2.2.2.3 Propostas de ensino mistas: utilização de múltiplos recursos e estratégias de ensino

Nesta seção são sumarizados estudos que apresentam propostas de módulos de ensino com o emprego de múltiplas estratégias e combinações das abordagens acima discutidas. Por exemplo, uso de experimentos, de modelos, ensino por investigação e discussão em classe por meio do uso do debate e argumentação.

Karpudewan, Roth e Bin Abdullah (2015) avaliaram a eficácia e o ganho de aprendizagem dos alunos por meio de um módulo didático com forte ênfase em uma pedagogia centrada no aluno (construtivista). O módulo denominado *5E learning cycle* enfatiza o ensino por investigação e engloba cinco fases: engajamento, exploração, explicação, elaboração e avaliação. Tais fases envolvem a exposição conceitual do professor, o teste de hipóteses sobre o efeito estufa através de atividades experimentais e a análise e interpretação dos resultados. Os autores concluíram que houve uma melhora significativa na compreensão e na mudança de atitude frente à questão climática nos alunos participantes do módulo 5E em comparação ao grupo de controle em que foi ministrado o mesmo conteúdo através de aula tradicional.

Arya e Maul (2016) partiram da pergunta sobre o que leva o não especialista (leigo) a se distanciar das pressuposições de cunho ideológico e político e aproximar-se do uso do raciocínio baseado em evidência no domínio da questão climática. Para tanto, os autores desenvolveram um módulo de ensino centrado no aluno com ênfase nas discussões baseadas em evidência (*evidence-based discussions*) e no diálogo entre pares. O módulo denominado CELL (*Climate Exchange for Language and Learning*), voltado para alunos de ensino médio emprega textos de apoio (adaptados de relatórios e artigos científicos) e fóruns de discussão *online* para fomentar o diálogo entre alunos e entre alunos e cientistas participantes (*online*). Utilizando entrevistas antes e depois da intervenção, os autores puderam verificar mudanças positivas nas respostas dos alunos sobre o entendimento relacionado à natureza da ciência, às complexidades da ciência do clima e o que conta como evidência científica nesse contexto.

De modo similar, o estudo de Walsh e McGowan (2016) também empregou um módulo de ensino para fomentar a argumentação e práticas de comunicação dos alunos no contexto da problemática dos impactos da mudança do clima. O módulo foi implementado utilizando uma plataforma *online* (com materiais de ensino com acesso a dados científicos e infográficos para argumentação visual) que permitiu a comunicação entre alunos e cientistas especialistas que avaliaram e forneceram *feedback* para os trabalhos (infográficos) dos alunos. No intuito de analisar as interações aluno-cientista, os infográficos dos alunos foram analisados antes e após a comunicação com os cientistas, demonstrando um impacto positivo na capacidade dos alunos de argumentar com base em evidências.

Bodzin e Fu (2014) testaram um módulo de ensino que teve a duração de 20 dias, voltado para alunos do oitavo ano, envolvendo uma sequência de tópicos sobre mudanças climáticas e fazendo uso da ferramenta geoespacial *Google Earth*. O uso dessa ferramenta permitiu a exploração de padrões climáticos de diferentes cidades, a discussão da diferença entre os conceitos de tempo meteorológico e clima, além de analisar sequências temporais de fotografias exibindo diferenças de cobertura de neve de áreas glaciais, gelo do Ártico, desaparecimento de recifes de corais da Jamaica, aumento do nível do mar, entre outros temas ambientais que foram explorados. A conclusão dos autores foi de que o uso de ferramentas geoespaciais contribui positivamente para o entendimento dos alunos sobre a temática das mudanças climáticas.

As sequências didáticas mencionadas nesta seção combinam ferramentas virtuais, materiais textuais e discussões para tratar questões sociocientíficas, propícias à educação cidadã.

### ***2.2.3 Reflexões teóricas sobre o ensino de questões sociocientíficas: aquecimento global e mudanças climáticas***

Nesta seção são discutidos os trabalhos que se dedicam exclusivamente a uma reflexão teórica sobre o ensino da temática do aquecimento global e mudanças climáticas. De modo especial, destacam-se os trabalhos que discutem a temática do aquecimento global sob a perspectiva do ensino de questões sociocientíficas (QSCs).

Levinson (2012) comenta sobre o artigo de Albe e Gombert (2012). Para Levinson (2012), abordar a temática do aquecimento global sob a perspectiva de uma conferência cidadã permite ampliar a discussão de dois aspectos fundamentais: (a) as questões políticas e

filosóficas sobre a temática do aquecimento global; (b) o desafio das escolas tanto como oportunidade como barreira institucional ao ensino de QSCs. No que diz respeito ao primeiro aspecto, Levinson (2012) comenta a necessidade de o ensino dessa temática focar o entendimento do processo social pelo qual os fatos científicos são tornados públicos. Ou seja, por um lado é importante fomentar a autonomia intelectual do aluno, inclusive para debater e questionar determinados argumentos científicos, mas se deve evitar o ceticismo quanto aos especialistas, preservando a confiança no processo científico e no papel do consenso na ciência. No que diz respeito ao segundo aspecto, o desafio das escolas tanto como oportunidade como barreira institucional ao ensino de QSCs, Levinson (2012) aponta para as dificuldades do ensino de QSCs diante das forças de mercado que impulsionam a escola para currículos voltados para a preparação para provas e exames de concursos (ensino propedêutico). Assim, a introdução de um ensino voltado à promoção da cidadania através de QSCs requer, antes de mais nada, um questionamento explícito das relações sócio-políticas entre a escola e a comunidade.

Gautier (2012) também comenta o trabalho de Albe e Gombert (2012) chamando a atenção para a necessidade dos debates em sala de aula sobre o aquecimento global voltarem seu foco para a questão do que devemos fazer a respeito, e não para a questão da causa do aquecimento global. Citando trabalhos de revisão da literatura como Oreskes (2004), Anderegg et al. (2010) e Doran e Zimmerman (2009), bem como atestados de Academias Científicas e Uniões Científicas que endossam a posição do IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*), Gautier (2012) destaca o conhecido consenso existente na comunidade de especialistas, ou seja, o fato de que 97 % dos cientistas cuja especialidade é a área climática estão em consenso. Neste sentido, destaca o autor, “a menos que se requeira 100% de acordo, uma conquista impossível em qualquer campo científico, pois sempre há alguns dissidentes, então a origem antropogênica do aquecimento global não se qualifica, em minha visão, como uma controvérsia sociocientífica” (Gautier, 2012, p. 684). Para o autor, na medida em que aquecimento global não é mais uma controvérsia científica, então também não constituiria uma controvérsia sociocientífica.

É interessante destacar que no presente trabalho concordamos com Gautier (2012) ao considerarmos que a causa antropogênica do aquecimento global não é mais uma controvérsia científica. Contudo, mantemos que o tema ainda constitui uma controvérsia sociocientífica (isto é melhor discutido no Apêndice III). De fato, a conclusão de Gautier (2012), de que o tema também não é uma controvérsia sociocientífica deve-se à definição de controvérsia

sociocientífica que o autor emprega, proveniente do trabalho de Albe e Gombert (2012). Estes últimos parecem defenir uma controvérsia sociocientífica como uma questão que gera controvérsias tanto na comunidade científica quanto na sociedade ou em grupos sociais preocupados com a questão. A posição adotada neste trabalho será um pouco distinta. Consideramos que a questão do aquecimento global envolve diferentes questões (Kitcer, 2010) e, portanto, há aspectos controversos e não controversos que podem ser separados. Assim, mesmo que não exista uma controvérsia científica sobre a questão da causa do aquecimento global, ainda há espaço no campo científico para desacordos quanto à previsão do clima à longo prazo. Mas principalmente, como veremos, na medida em que a solução do problema climático envolve dimensões sociais, econômicas, políticas, éticas, etc., são justamente estas dimensões que tornam a temática controversa, qualificando-a como uma controvérsia sociocientífica.

Neste sentido, embora Gautier (2012) considere legítimos os usos do debate em sala de aula para abordar a questão do aquecimento global antropogênico, pois permite fomentar o pensamento crítico dos alunos, o autor observa que tais debates não são mais necessários (a não ser que o professor ou facilitador forneça uma direção do debate, deixando claro que se trata de uma questão resolvida na esfera científica e que o debate em sala de aula teria apenas a função de exercício que possibilitaria dar sentido à ciência climática envolvida com a questão)<sup>21</sup>. Para Gautier (2012, p. 685), a questão relevante que deve ser debatida em sala de aula é a relativa ao que deve ser feito a respeito da mudança climática em curso. Ou seja, as ações que a sociedade pode tomar frente ao problema climático, envolvendo decisões sobre mitigação (redução e regulamentação de emissões, uso de energias limpas etc.) e decisões sobre adaptação às mudanças em curso. O autor também discute o conceito de letramento científico (*scientific literacy*) observando a importância de discutir aspectos metodológicos do desenvolvimento da ciência climática, especialmente aspectos da história da ciência (discutindo o longo processo que esteve em curso até determinada ideia ser aceita na comunidade científica), e os processos de revisão por pares (*peer review*) envolvidos no fazer científico. Com isso, o aluno teria mais condições de distinguir entre uma alegação feita pela comunidade científica (e que passou por um longo processo de debate na comunidade científica) e uma alegação controversa feita por um único cientista, ou alguns cientistas

---

<sup>21</sup> Uma perspectiva similar será adotada nesta tese, ou seja, de que uma abordagem que debata a questão como sendo uma controvérsia poderá ser usada se consideramos a questão da perspectiva da história da ciência, abordando os debates que ocorreram na comunidade científica ao longo do século XX e culminando na resolução da controvérsia, especialmente a partir do terceiro relatório do IPCC (2001).

individuais, muitas vezes com credenciais duvidosas.

Uma abordagem distinta é defendida por Bryce e Day (2014) que consideram a temática como sendo uma controvérsia científica, inclusive no que diz respeito às causas do aquecimento global. Os autores apontam para a necessidade de o ensino de Ciências enfatizar o caráter provisório do conhecimento científico, dando destaque ao papel que a dúvida e o ceticismo desempenham no avanço do conhecimento científico. Assim, os autores argumentam em favor da necessidade de um ensino de Ciências em que alunos sejam ensinados, explicitamente, a serem céticos e serem capazes de identificar vieses em alegações científicas. No contexto das mudanças climáticas, tendo em vista a dimensão controversa que o tema vem tomando na esfera pública, estes autores consideram que o ensino da temática deve explorar as diferentes perspectivas sobre o tema, enfatizando a dúvida e o ceticismo sobre a temática. Assim, destacam a necessidade de um ensino sobre mudança climática e aquecimento global que englobe outras perspectivas para além daquela considerada consensual, especialmente a perspectiva dos céticos, de modo a evitar vieses e o favorecimento de uma adesão acrítica ao consenso estabelecido pela maioria dos cientistas.

Santos (2014) adota uma posição similar à de Bryce e Day (2014), enfatizando o papel do ceticismo no ensino da temática do aquecimento global. A proposta do autor é fornecer uma descrição balanceada da questão apresentando ambos os lados do debate sobre as causas do aquecimento global, ou seja, se causado pela ação do homem ou pela variabilidade natural. Diante deste debate, o autor defende que se deva evitar as posturas “alarmistas” e “negacionistas” do aquecimento global, adotando uma postura cética no sentido indicado por Bryce e Day (2014), mas sem que, com isso, haja uma despreocupação com a questão ambiental envolvida. Por fim, o autor enfatiza a necessidade de discutir os aspectos políticos e interesses econômicos envolvidos com a questão e que podem explicar casos de desacordo entre cientistas como sendo devidos a razões econômicas e não científicas.

Dentro da mesma perspectiva, Colucci-Gray (2014), comentando o artigo de Bryce & Day (2014), também enfatiza a importância do ceticismo e da consciência reflexiva na abordagem do tema. O autor(a) explora a dimensão da controvérsia com os céticos e reflete sobre o papel da evidência e dos julgamentos valorativos na formação do conhecimento científico.

Fensham (2014) fornece uma resposta crítica ao artigo de Bryce & Day (2014). Observa, por exemplo, o fato notável de que Bryce & Day (2014) em seu extenso artigo dedicado à questão da dúvida e ao ceticismo, não fazerem menção ao fato amplamente

documentado de que existe uma campanha de promoção da dúvida e da desinformação sobre aquecimento global, promovida pela indústria do combustível fóssil e que envolve o financiamento de diversos cientistas céticos como Fred Singer, Bil Nierenber, Fred Seitz entre outros céticos famosos dedicados a questionar o consenso. Diferente da posição de Bryce e Day (2014), que promovem o ceticismo e a dúvida com o objetivo central da educação científica, Fensham (2014) argumenta que, embora o cultivo do ceticismo seja importante em muitos contextos, a confiança na ciência é um ingrediente igualmente importante na educação científica<sup>22</sup>. Fensham (2014, p. 656) observa que numa era em que os empreendimentos científicos são desenvolvidos em grandes grupos (times) interdisciplinares de cientistas trabalhando colaborativamente, a confiança no trabalho dos colegas passa a ser um ingrediente essencial e necessário ao desenvolvimento científico, pois nenhum dos membros é particularmente capaz de dominar todas os aspectos e facetas do problema complexo investigado.

Estendendo esta observação para o campo da educação, Fensham (2014) defende que o objetivo educacional da ciência escolar é o de promover uma atitude reflexiva no aluno, de modo que este possa saber diferenciar entre asserções de conhecimento científico que devem ser duvidadas e as que se pode confiar. Neste contexto, seria preciso que os estudantes tivessem capacidade de distinguir entre uma alegação científica feita pela comunidade científica de uma alegação feita por um cientista individual independente do seu *status* aparente. Neste sentido, Fensham (2014) apresenta uma visão de educação científica que envolve três aspectos: (1) aprender o conteúdo científico; (2) aprender sobre ciência (natureza da ciência); (3) aprender a viver com a ciência como uma importante fonte de conhecimento para a sociedade.

Sharma (2012) defende a centralidade da temática das mudanças climáticas no currículo escolar de ensino de Ciências. O autor destaca que existe atualmente um amplo consenso entre especialistas de que as mudanças climáticas representam uma ameaça para todas as sociedades humanas. Contudo, pesquisas têm indicado que apenas 34% dos americanos atribuem o aquecimento global à atividade humana (Sharma, 2012). Ao mesmo tempo, observa que mesmo entre aqueles que se consideram ambientalistas, o conhecimento básico da ciência subjacente a fenômenos ambientais como o aquecimento global é consideravelmente limitado. Para Sharma (2012, p. 45), por ser um assunto complexo e

---

<sup>22</sup> Esta questão da confiança (*trust*) versus ceticismo será retomada no próximo capítulo (seção 3.2).

multidisciplinar que abarca os diversos aspectos das nossas vidas, poderá ser necessário reimaginar a educação para enfrentar essa problemática. Contudo, para o autor, o melhor lugar para iniciar a inclusão da mudança climática global no currículo seria justamente a ciência escolar, onde diversos conceitos e temas da questão surgem naturalmente. Por outro lado, enfatiza que não devemos esquecer que a questão da mudança climática é um problema sociocientífico e, neste sentido, não pode ser resolvido por meios apenas tecnológicos ou científicos.

Assim, um enfoque puramente científico sobre o assunto pode transmitir uma ideia errônea aos alunos, por exemplo, de que este é um problema tecnológico com soluções puramente tecnológicas, ou seja, mais simples. Ao invés disso, o que é necessário é que os estudantes compreendam que a atual crise é o resultado de impactos sociais sobre os fluxos de matéria e energia dos sistemas ecológicos. Neste sentido, tratar da questão ambiental seria tratar também da questão social, política e econômica. Para tanto, seria indispensável que a aula de ciências fomentasse a interdisciplinaridade com outras disciplinas das ciências humanas. Contudo, para o autor, a questão da mudança climática não é apenas mais um problema sociocientífico, mas sim, o problema mais importante a ser enfrentado no presente século. Dessa forma, para Sharma (2012, p. 47), a ciência escolar deve ter como objetivos centrais a sustentabilidade e incluir de modo amplo no currículo de todas as séries o tema da mudança climática.

A presente revisão de literatura mostra que ainda não há um consenso entre os diversos autores da área de ensino sobre como tratar na educação científica temas como o das mudanças climáticas e do aquecimento global, justamente porque ele é complexo, vai além da fronteira da ciência, envolvendo diferentes vieses e uma discussão interdisciplinar e, acima de tudo, constitui-se em uma das mais importantes questões sociocientíficas que marcam a nossa época e a nossa sociedade. Por isso, debruçamo-nos, nesta tese, com as várias facetas que a temática exige, desde o esclarecimento de conceitos e fundamentos da física envolvidos no efeito estufa, o efeito antropogênico no aquecimento global, o levantamento de concepções de estudantes e professores sobre essas questões até o planejamento, aplicação e análise de um módulo didático como sendo uma das possibilidades, não a única, para tratar a temática na formação de professores de Física.

### 3. REFERENCIAL TEÓRICO

Na medida em que a temática do aquecimento global e mudanças climáticas é um tema de ensino no qual cabe a denominação de Questão Sociocientífica (QSC), neste capítulo será feita uma discussão teórica que buscará fornecer subsídios para a abordagem de questões sociocientíficas (QSCs) em sala de aula. Iniciaremos apresentando a discussão da literatura em ensino de Ciências sobre o ensino e aprendizagem de QSCs. A este respeito discutiremos três aspectos: a estruturação do ensino e aprendizagem de questões sociocientíficas, os aspectos epistemológicos das QSCs e a dimensão da aprendizagem das QSCs.

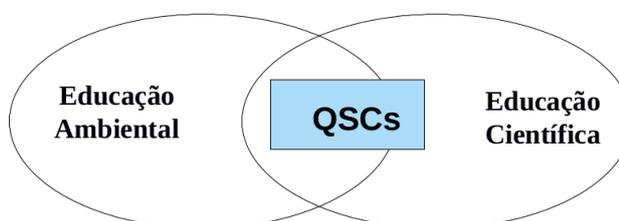
Por fim, apresentamos uma discussão teórica da temática das controvérsias científicas da perspectiva da filosofia da ciência e epistemologia contemporânea. Na medida em que as QSCs são controversas, consideramos importante compreender em que consiste uma controvérsia científica, bem como diferenciar os aspectos controversos e não controversos de uma determinada questão, o que nos remete a pergunta sobre “o que devemos ensinar como sendo controverso?”.

#### 3.1 Ensino e aprendizagem de Questões Sociocientíficas

Recentemente a educação científica tem manifestado grande interesse no ensino e aprendizagem de Questões Sociocientíficas (QSCs). Autores têm destacado que a instrução organizada em torno de QSCs tem o potencial de motivar os estudantes, melhorar a aprendizagem de conteúdos, contextualizar o ensino de Ciências (inclusive de aspectos da Natureza da Ciência) engajando o aluno com a ciência relacionada às questões que extrapolam os limites corriqueiros da sala de aula, bem como desenvolver habilidades de pensamento de ordem superior (Sadler & Murakami, 2014; Hodson, 2018). O ensino baseado em QSCs é um movimento que podemos identificar como sendo parte do movimento mais amplo conhecido como CTSA (Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente) (Pedretti & Nazir, 2011), compartilhando a visão de uma educação científica voltada para o letramento científico (*scientific literacy*), o exercício da cidadania (*science for citizenship*) e a promoção da democracia e justiça social (Kolsto, 2001).

Questões Sociocientíficas podem ser conceituadas como sendo questões ou dilemas sociais que possuem ligações conceituais e/ou tecnológicas com a ciência (Sadler & Murakami, 2014). É interessante notar que as QSCs permitem integrar os campos da educação

ambiental e da educação científica (Figura 3.1). Em primeiro lugar, questões ambientais tendem a ter suas bases enraizadas em campos da ciência como a Ecologia, a Biologia da Conservação, a Geologia, a Física e a Química Ambiental, entre outras (Sadler & Murakami, 2014; Sharma, 2012). Por sua vez, diversas QSCs que requerem a tomada de posição e decisão por parte do cidadão no mundo contemporâneo estão relacionadas ao campo ambiental, por exemplo: a poluição da água, a poluição do ar, os riscos de pesticidas, os alimentos geneticamente modificados, a perda da biodiversidade e a mudança climática global. Neste sentido, a emergência da educação baseada em QSCs apresenta oportunidades para a prática da educação ambiental no contexto da sala de aula de ciências.



**Figura 3.1:** Relação entre os campos da educação científica, educação ambiental e as questões sociocientíficas (QSCs). Adaptado de Sadler & Murakami (2014).

De fato, a ênfase em uma educação científica voltada para a cidadania (*science for citizenship*) alinha a abordagem das QSCs com as recomendações para a prática da educação ambiental (Sauvé, 2005; Gadoti, 2008; Reigota, 2009). Além disso, um ensino voltado para as QSCs traz naturalmente outro aspecto caro para a prática da educação ambiental, a saber, a interdisciplinaridade (González-Gaudiano, 2005). Temas sociocientíficos são temas interdisciplinares por sua própria natureza e cuja compreensão requer a discussão de aspectos que transcendem o conteúdo científico, envolvendo as dimensões sociais, políticas, econômicas e culturais. Neste sentido, a abordagem de questões sociocientíficas na prática da educação ambiental aponta, também, para a importância de considerar a dimensão mais ampla da aprendizagem, envolvendo a relação entre sociedade, natureza e indivíduo (Rickinson, Lundholm, & Hopwood, 2009).

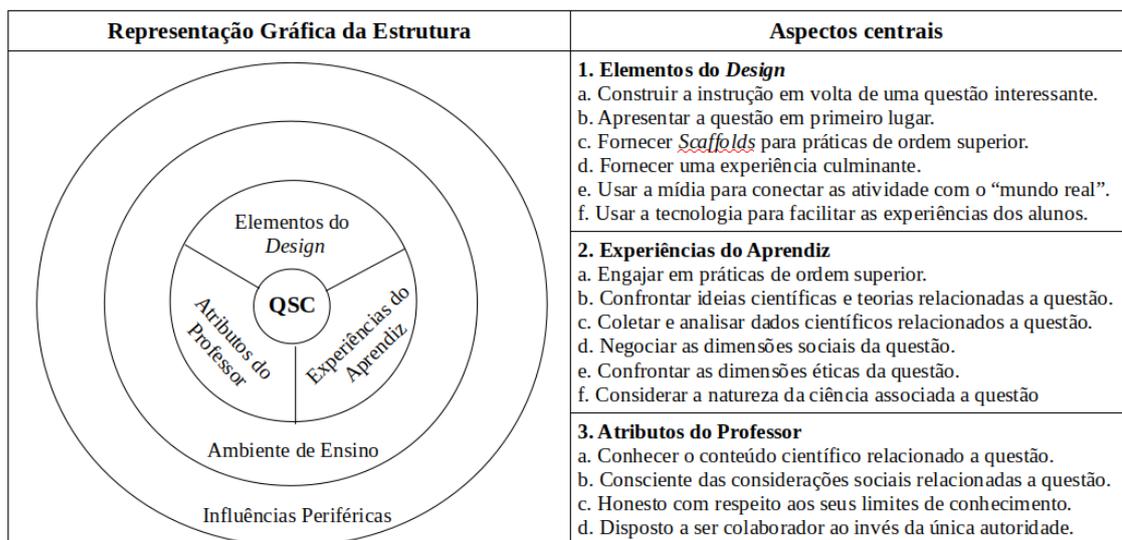
Com isso podemos notar que a abordagem de Questões Sociocientíficas em sala de aula impõe consideráveis desafios, seja da perspectiva do ensino quanto da perspectiva da aprendizagem do aluno. A fim de delimitar o foco de ensino e aprendizagem em torno das QSCs e atingir seus objetivos (como o *letramento científico* e o *exercício da cidadania*), diferentes autores têm feito recomendações e propostas de como estruturar a instrução em

torno das QSCs, bem como os aspectos pedagógicos e curriculares que devem ser observados e enfatizados na instrução. Neste sentido, visando ampliar a discussão sobre o ensino e aprendizagem de QSCs, a discussão subsequente abordará três aspectos: (1) a estruturação do ensino e aprendizagem de QSCs; (2) a dimensão epistemológica das QSCs e (3) a dimensão da aprendizagem das QSCs.

### ***3.1.1 Modelo de estruturação do ensino e aprendizagem de QSCs***

A busca de um ensino de Ciências que envolva uma preocupação com a formação para a cidadania tem gerado uma série de propostas curriculares e pedagógicas voltadas para o ensino de QSCs. No que segue optamos por apresentar uma dessas propostas de estruturação do ensino de QSCs desenvolvida por Presley, et al. (2013) e Sadler e Murakami (2014) e que, como veremos, visa captar os elementos principais de uma proposta de ensino e aprendizagem de QSCs.

O modelo proposto pelos autores constitui-se de um quadro estrutural de ensino e aprendizagem composto de três aspectos centrais: *(1) elementos do design; (2) experiências do aprendiz e (3) atributos do professor*. Sendo que estes três aspectos são vistos como dependentes de contextos mais amplos como o ambiente de sala de aula, a comunidade escolar e a realidade social que compõem o que os autores denominam de *Ambiente de Ensino e Influências Periféricas* (veja-se a Representação Gráfica da Estrutura - Figura 3.2).



**Figura 3.2:** Estrutura de ensino e aprendizagem de QSCs. Adaptado de Sadler & Murakami (2014).

Como podemos observar na Figura 3.2, iniciando pelos Elementos do *Design* os componentes (a) e (b) destacam a importância de iniciar a instrução pela apresentação da questão sociocientífica, de modo que ela possa servir como o real contexto para a instrução (Presley, et al., 2013). Assim, diferente de livros textos que, de modo geral, apresentam apenas ao final dos capítulos alguns exemplos de questões científicas relacionadas ao mundo real, no ensino baseado em QSCs é justamente a questão sociocientífica que deve servir de contexto para o ensino dos aspectos científicos. O terceiro elemento (c) envolve engajar os alunos com práticas de ordem superior. Entre tais práticas os autores destacam a argumentação, o raciocínio e a tomada de decisão (Sadler & Murakami, 2014, p.337; Presley, et al., 2013). Por fim, o último elemento essencial do *design* é descrito em (d) e consiste em fornecer ao aluno a oportunidades para sintetizar as suas experiências e compreensões através de uma atividade culminante como, por exemplo, um debate ou *role-play*. Os autores também destacam dois elementos adicionais (e) e (f). No caso do uso da mídia é recomendado o uso de artigos de jornais, vídeos e documentários televisivos para acessar informações recentes sobre a questão. Finalmente, é recomendado o uso da tecnologia para acessar as diferentes formas de mídia que podem facilitar as experiências dos alunos.

Passemos agora para o próximo aspecto da estrutura que aborda as Experiências do Aprendiz. Nesse caso, os três primeiros elementos, (a), (b) e (c), recomendam oferecer oportunidades para o aluno se engajar com práticas de ordem superior como o uso da argumentação, da confrontação de ideias científicas rivais relacionadas à questão e a

coleta/análise de dados científicos relacionados à questão proposta. Assim, por exemplo, no contexto do ensino da questão das mudanças climáticas, pode-se dividir os alunos em grupos que defendem diferentes avaliações da questão, por exemplo, entre o grupo dos cientistas da “visão consensual” e dos chamados “céticos”. Os alunos podem, então, pesquisar a evidência que dá suporte a cada posição e apresentar essa evidência para os outros grupos. A partir disso cada grupo apresenta um argumento para defesa de sua posição, bem como uma refutação para a posição rival. Ao final os alunos devem, então, ter a oportunidade para tomar uma posição frente à questão com base nas evidências e argumentos apresentados pelos grupos (Presley, et al., 2013, p. 29). Finalmente, especialmente no contexto das mudanças climáticas, merecem ser discutidos os itens (e) e (f), ou seja, as dimensões éticas e a natureza da ciência associada a questão. Assim, por exemplo, pode-se discutir as obrigações morais que o ser humano tem para cuidar do planeta Terra e suas formas de vida. Por fim, o item (f) destaca a importância de discutir questões relacionadas à natureza da ciência, especialmente o papel do consenso e da controvérsia na ciência. A este respeito estenderemos a discussão na próxima seção.

Considerando agora os Atributos do Professor, o primeiro item (a) remete a importância do professor conhecer o conteúdo científico relacionado à questão. Assim, por exemplo, para tratar do tema das mudanças climáticas é essencial que o professor conheça a base física do efeito estufa e seu mecanismo de funcionamento. Além do aspecto científico, os autores destacam a importância do professor ter consciência das dimensões sociais relacionadas à questão (item b), embora, nesse caso, não é exigido que o professor possua um domínio dessas questões no mesmo nível do conteúdo científico. De fato, mesmo em se tratando do conteúdo científico, o item (c) requer que o professor seja honesto com respeito a seus limites de conhecimento, pois QSCs muitas vezes estão na fronteira da pesquisa científica, de modo que o professor não terá respostas prontas para todas as perguntas que surgirão no decorrer da instrução. Nesse sentido, se por um lado é importante que o professor tenha conhecimento suficiente sobre a questão para poder guiar o aluno na pesquisa por novas informações e compreensões, deve também ter a consciência de que não terá todas as respostas. Isto nos remete ao item (d) referente aos atributos do professor, ou seja, de que o professor deve exibir uma disposição em se colocar como colaborador ao invés da única autoridade no assunto. Assim, em muitos casos o professor deverá colocar-se junto ao aluno como parceiro de trabalho e, também, aprendiz sobre a questão. Neste sentido, a abordagem de ensino e aprendizagem de QSCs recomenda que o professor abandone a visão de

“autoridade tradicional”, em que usa de sua posição institucional para persuadir o aluno, e assumam uma outra visão de “autoridade racional” onde ele passa a fornecer razões e evidências para as asserções de conhecimento que apresenta (Driver, Newton & Osborne, 2000).

### 3.1.2 A dimensão epistemológica no ensino de QSCs

Proponentes da abordagem de ensino e aprendizagem de QSCs depositam forte ênfase na dimensão epistemológica relacionada à Natureza da Ciência a ser considerada na atividade de ensino (Kolsto, 2001; Hodson, 2018). Autores defendem que no contexto de uma educação científica voltada para a cidadania (*science for citizenship*), a qualidade das decisões tomadas por cidadãos diante de QSCs requer que estes possuam conhecimento científico relacionado à questão, bem como uma compreensão das características gerais do próprio conhecimento científico. Ou seja, uma educação científica cujo objetivo é promover a cidadania deve não apenas prestar atenção ao “conhecimento do conteúdo científico” (*knowledge in science*), mas também ao “conhecimento que transcende o conteúdo científico” (*knowledge about science*) (Kolsto, 2001).

Para Kolsto (2001) o *conhecimento sobre a ciência* é particularmente importante no contexto das Questões Sociocientíficas Controversas (QSCCs), uma vez que, na tomada de posição frente às QSCCs, uma das dificuldades do leigo está em como interpretar os desacordos percebidos entre os especialistas. Surgem, assim, questões como: em quais especialistas posso confiar? Estariam os cientistas expressando interesses e opiniões pessoais? Qual a comunidade científica da área? Posso confiar na ciência?

De fato, lidar com questões desse tipo requer a discussão de uma série de tópicos epistemológicos presentes na literatura sobre epistemologia, filosofia da ciência e ensino de Ciências. Kolsto (2001), por exemplo, destaca quatro temas principais relacionados à Natureza da Ciência: (a) *ciência como um processo social*, (b) *limitações da ciência*, (c) *valores na ciência* e (d) *atitude crítica*. Dentro destes quatro temas o autor aborda oito tópicos epistemológicos: (1) ciência em formação e o papel do consenso científico; (2) ciência como um dos vários domínios sociais; (3) proposições descritivas e normativas; (4) demanda por evidência; (5) modelos científicos e vínculo contextual; (6) evidência científica; (7) suspensão de juízo e (8) escrutinar alegações de conhecimento relacionadas à ciência.

Sem entrar em todos os detalhes da proposta de Kolsto (2001), no que segue teceremos algumas considerações dando enfoque principalmente ao tema da “dimensão social” da ciência, ao qual estão relacionados tópicos como argumentação, crítica entre pares, demanda por evidência e valores na ciência discutidos igualmente por autores do ensino de Ciências como Driver, Newton e Osborne (2000), Duschl (2008) e Hodson (2018). Na seção 3.3 estenderemos a discussão sobre a dimensão social da ciência no contexto da temática das controvérsias científicas a partir de autores da filosofia da ciência contemporânea.

Relacionado ao tema “ciência como um processo social” Kolsto (2001) discute a importância de abordar a distinção entre a ciência dos livros textos (*ready-made-science*) e a “ciência em formação” (*science-in-the-making*), bem como o papel do consenso científico neste contexto. A ciência envolvida em QSCs é, em geral, ciência de fronteira e por esse motivo ainda é uma “ciência em formação”, diferente da ciência dos livros texto que remete ao produto acabado do conhecimento científico e sobre o qual já existe um consenso estabelecido entre especialistas. Assim, para que o aluno possa lidar e interpretar debates sobre essa ciência em formação é importante que ele compreenda a dimensão social da ciência e o papel da crítica intersubjetiva, da argumentação e dos processos de revisão por pares que podem levar a um eventual consenso científico (Kolsto, 2001, p. 295)<sup>23</sup>.

Como observado por Kolsto (2001), compreender os processos de crítica, debate e argumentação envolvidos na formação do consenso científico fornece aos alunos uma compreensão de que a posição científica em vigor (a hipótese ou teoria correntemente aceita), embora falível, é a melhor disponível dada a evidência que os cientistas dispõem. Além disso, a discussão desses aspectos também fomenta a compreensão de que mesmo a ciência consensual apresentada em livros textos é o produto de um processo social de debate no interior de uma comunidade científica, desmistificando a ideia de que o conhecimento científico é fruto de cientistas (“gênios”) individuais e apresentando a ciência como uma instituição social.

Nesta mesma linha, Driver, Newton e Osborne (2000) defendem a visão de “ciência como argumento”, compreendendo conhecimento científico como sendo algo socialmente construído e chamando a atenção para a necessidade de reconhecer a ciência como um empreendimento e uma prática social de uma comunidade científica. Diferente da visão clássica (positivista), que tende a ver a ciência como uma coleção de fatos bem estabelecidos

---

<sup>23</sup> Tal interpretação está alinhada com a posição de Longino (1990, 2002), onde reconhecer a dimensão social da ciência não significa negar sua objetividade.

sobre o mundo<sup>24</sup>, a visão de “ciência como argumento” concebe-a como um processo dialógico que envolve pesar evidências, argumentar e debater, que é o processo que ocorre no interior de uma comunidade científica<sup>25</sup>.

De modo similar Duschl (2008) destaca que ao compreender a centralidade da argumentação no processo de construção dialógica do conhecimento científico, percebendo o papel das evidências e razões na justificação de ideias, hipóteses e teorias, o aluno também compreenderá a importância de tomar razões e evidências como um guia para as suas próprias crenças e ações e, desse modo, estará mais apto a fazer julgamentos sobre questões científicas e sociocientíficas debatidas na esfera pública (Ibid., p.297). Ou seja, ao compreender a natureza social da ciência o aluno tende a estar mais apto a fazer julgamentos racionais sobre questões científicas complexas, compreendendo o lugar das controvérsias na ciência e a tomar decisões mais conscientes.

Neste sentido, Driver, Newton e Osborne (2000), Kolsto (2001) e Duschl (2008) chamam a atenção para a necessidade de o ensino de Ciências reconsiderar seu papel, redirecionando sua atenção de uma educação “na ciência” (*in science*) para uma educação “sobre a ciência” (*about science*). Ou seja, uma mudança de foco da educação científica de “o que sabemos” para “como sabemos” e “por que cremos”, visando dotar os alunos com habilidades críticas e argumentativas e promovendo o seu letramento científico (*scientific literacy*). Nesta visão de educação científica, “saber ciência” requer “[...] saber não apenas *o que* um determinado fenômeno é, mas também *como* ele está relacionado a outros eventos, *por que* é importante, e *como* tal visão particular sobre o mundo veio a se estabelecer” (Driver, Newton e Osborne, 2000, p.297).

Neste contexto, torna-se relevante também discutir questões relacionadas aos “Limites da ciência” e o falibilismo da ciência. Na medida em que a ciência é reconhecida como sendo um dentre vários outros domínios sociais, é importante considerar outras dimensões de uma QSC, evitando uma posição *tecnocrática* segundo a qual decisões coletivas na sociedade devem ser relegadas apenas aos especialistas (Kolsto, 2001). Ou seja, na tomada de decisão frente à QSC é importante que o aluno tenha consciência da relevância de outras

---

<sup>24</sup> De fato, como visto na seção sobre controvérsias científicas, uma postura epistemológica (positivista) que compreende a ciência como um resultado de observações e experimentos que dão acesso direto a “verdade” têm dificuldade em reconhecer as controvérsias científicas como constitutivas do fazer científico.

<sup>25</sup> Novamente, esta posição está alinhada com as abordagens da filosofia da ciência que tratam da dimensão social e histórica da ciência e que enfatizam justamente o processo argumentativo e a crítica entre os pares como um processo essencial na resolução de controvérsias científicas que abordaremos na seção 3.3 (Longino, 2002; Machamer, Pera, & Baltas, 2000).

dimensões do conhecimento, além da científica. Além disso, deve-se estar atento para as situações em que julgamentos de cientistas ultrapassam seu limite de especialidade, por exemplo, quando um cientista faz declarações na esfera pública que envolvem juízos de valor e que, portanto, expressam a opinião pessoal do cientista, diferentemente de uma declaração que se atém ao conhecimento científico vigente. Torna-se, assim, vital compreender a distinção entre conhecimento científico e a mera opinião, ou seja, de que conhecimento vem acompanhado de evidências e razões, enquanto que a mera opinião expressa apenas um “palpite” sem fundamentação em evidências. Assim, a demanda pela evidência requer questionar e analisar quais são as evidências que sustentam determinada alegação, compreendendo que a demanda por evidência também pode variar de acordo com o contexto, valores e interesses envolvidos (Kolsto, 2001).

### ***3.1.3 A dimensão da aprendizagem nas Questões Sociocientíficas Controversas***

Vimos até aqui que uma abordagem de ensino e aprendizagem de Questões Sociocientíficas deve estar ciente das complexidades relacionadas tanto no que diz respeito ao *conteúdo científico* envolvido, quanto aos temas epistemológicos relacionados às QSCs. Contudo, como observado por autores como Lombardi, e Sinatra (2013) quando tomamos em consideração QSCs, como no caso das mudanças climáticas, deve-se prestar atenção a tópicos adicionais. Particularmente, a questão do aquecimento global está associada a fortes sentimentos e emoções tanto por parte do professor como do aluno (Lombardi & Sinatra, 2013). Especialmente relacionado ao tema da causa antropogênica do aquecimento global, uma série de emoções negativas sobre o tópico podem surgir como ansiedade, raiva, medo e falta de esperança, emoções que podem influenciar de forma decisiva a instrução e a aprendizagem sobre o tema.

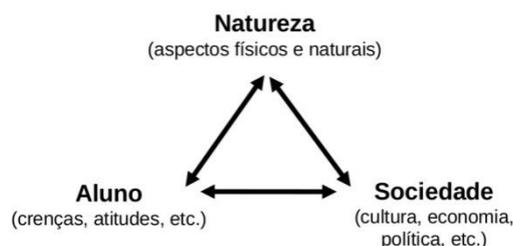
Esta constatação nos conecta diretamente com a necessidade de refletir sobre a aprendizagem no contexto das QSCs. Como é sabido há muito tempo, teóricos da aprendizagem têm apontado para a complexidade do fenômeno da aprendizagem e de que esta é influenciada não apenas por fatores cognitivos, mas também por fatores pessoais, motivacionais, socioculturais e contextuais de sala de aula (Novak, 1977; Pintrich, Marx & Boyle, 1993; Dole & Sinatra, 1998; Vosniadou; 2003).

De fato, na perspectiva “aquecida” da mudança conceitual, considera-se que o modelo frio (puramente cognitivo), tem dificuldades em explicar muitas situações de

aprendizado no contexto da sala de aula (Pintrich, Marx & Boyle, 1993; Dole & Sinatra, 1998). Por exemplo, porque determinados alunos, que possuem os conhecimentos prévios adequados, em muitos casos não ativam ou não fazem uso desse conhecimento prévio em tarefas de sala de aula? Assim, essa não ativação do conhecimento prévio não poderia ser atribuída apenas a fatores cognitivos, mas requer considerar também fatores motivacionais e fatores contextuais da sala de aula. Ou seja, nesta perspectiva o processo de mudança conceitual é influenciado também por fatores pessoais, motivacionais e socioculturais. Em suma, ao considerar a dimensão motivacional passa-se a compreender o aprendiz não apenas como um agente ativo, mas também como agente intencional, possuindo interesses, planos e objetivos. Ou seja, o aprendiz é visto de forma mais ampla, incluindo fatores cognitivos (conhecimentos prévios) e fatores motivacionais (como objetivos, interesses pessoais, expectativas, desejos, valores, crenças epistemológicas e crenças de autoeficácia).

No contexto ambiental, autores como Meyers (2006), Rickinson, Lundholm e Hopwood (2009) e Dillon (2003) apontam justamente para a importância de se considerar a dimensão da aprendizagem dentro da temática ambiental. Reconhecendo a dimensão construtivista, social e intencional da aprendizagem, tais autores consideram que o aprendiz, como um sujeito completo (pensa, age e sente), e suas experiências devem ser trazidas para o centro das atenções dos debates sobre a educação ambiental. Assim, é preciso reconhecer que o aprendiz desempenha um papel significativo na moldagem do aprendizado, funcionando como um filtro dos conteúdos, evidenciando o aspecto contextual e idiossincrático da aprendizagem (Falk, 2005; Rickinson, Lundholm & Hopwood, 2009).

Rickinson, Lundholm e Hopwood (2009) consideram a “aprendizagem ambiental” como um conceito com múltiplas dimensões, envolvendo o sujeito da aprendizagem (quem aprende), o conteúdo da aprendizagem (o que aprende), o local da aprendizagem (onde aprende), as metodologias e técnicas de ensino (como aprende) e os motivos e intenções do aprendiz (por que aprende). Ao mesmo tempo, a interdisciplinaridade do campo ambiental requer considerar as relações entre os alunos (suas crenças e atitudes), a natureza (aspectos físicos e naturais) e a sociedade (aspectos humanos, culturais, políticos e econômicos), de modo que, na aprendizagem ambiental, o aluno aprende não apenas sobre a complexa relação entre natureza e sociedade, mas também sobre si mesmo na relação com a natureza e com a sociedade (Figura 3.3).



**Figura 3.3:** Conceituando “o que o aprendiz aprende” na aprendizagem ambiental (adaptado de Rickinson, Lundholm e Hopwood, 2009, p.18).

Assim, ao tratar da aprendizagem no contexto ambiental é importante considerar alguns elementos presentes no aprendiz que podem influenciar de forma decisiva a aprendizagem como: *as emoções e valores dos alunos; a relevância da temática para o aluno e os diferentes pontos de vista entre professores e alunos* (Rickinson, Lundholm & Hopwood, 2009).

As emoções dos alunos frente aos temas ambientais controversos podem determinar o seu engajamento com as tarefas propostas pelo professor. Por exemplo, na abordagem das mudanças climáticas alunos podem sentir emoções como irritação e falta de esperança (Lombardi & Sinatra, 2013) e que podem comprometer seu engajamento com a tarefa de ensino. Neste sentido, é fundamental que o professor busque compartilhar a mensagem de tal forma que permita estabelecer em classe emoções favoráveis ao engajamento com a tarefa. Por exemplo, ao invés de salientar apenas os aspectos negativos da ação humana no clima global, o professor pode privilegiar alternativas e soluções ao alcance da realidade do aluno. Assim busca-se superar a passividade e incentivar o espírito crítico e esperançoso (Freire, 1996, 2018), passando a conceber a questão sociocientífica como uma problema passível de solução, ao invés de uma realidade imutável, fatalista, diante da qual nada poderia ser feito (Jacobi, et al. 2011).

Fatores emocionais também podem estar implicados em respostas automáticas e processamentos automáticos da informação. Assim, é igualmente importante que o professor estimule o exercício de habilidades metacognitivas como o pensamento crítico, de modo que o aluno possa refletir sobre suas próprias concepções e reavaliar seus julgamentos sobre a mensagem recebida (Dole & Sinatra, 1998; Lombardi & Sinatra, 2012). De fato, a reconstrução do conhecimento relativo a tópicos sociocientíficos complexos envolve

desenvolver habilidades como o pensamento crítico e a capacidade de avaliar a conexão entre evidência e hipótese. Tais habilidades podem ser exercitadas, por exemplo, em situações didáticas que envolvem confrontar hipóteses rivais na explicação do mesmo fenômeno. Vale notar que essas também são recomendações de abordagens da educação ambiental que acentuam a importância do aluno desenvolver habilidades críticas para lidar com temas ambientais complexos (Orr, 1992; Tilbury, 1995; Meyers, 2006; Reigota, 2009).

Ao mesmo tempo, a relevância para o aprendiz mostra que estudantes tornam-se mais propensos a se engajar e valorizar experiências de aprendizado que eles percebem como sendo relevantes para si. Assim, é essencial que o aluno perceba a tarefa de ensino como sendo relevante, seja para o contexto de sua vida atual ou futura, seja para a disciplina curricular que ele está cursando. Alunos podem ter um interesse intrínseco por determinada área, seja por um interesse em compreender e dominar o assunto, seja por que consideram aquele conhecimento específico importante para a sua futura carreira (Pintrich, Marx & Boyle, 1993, p.182). Contudo, é importante lembrar que os aspectos motivacionais relacionados à relevância pessoal como interesse, objetivos, etc., são altamente dependentes do contexto (Dole & Sinatra, 1998). Assim, é importante que o professor busque apresentar tarefas autênticas, ou seja, que sejam desafiadoras, que tenham significado e relevância para o contexto de vida do aluno fora da escola. De fato, a temática ambiental é bastante propícia para contextualizar temas científicos abordando problemas do mundo real (Tilbury, 1995, p.199). Neste sentido, pode-se dizer que a temática ambiental é uma fonte potencial de tarefas autênticas.

Além da escolha da tarefa, é importante que o professor considere a perspectiva do aluno, encorajando-o a explorar ligações entre a sua vida pessoal e problemas ambientais mais amplos. Organizar a sala de aula de forma a criar um ambiente investigativo, com recurso a pequenos projetos de investigação, trabalhos em grupo e debates podem constituir valiosos estímulos ao exercício reflexivo, colaborativo, contribuindo também para que o aluno se sinta motivado a se engajar com determinada tarefa e passe a considerá-la relevante. A este respeito, é interessante prestar atenção aos diferentes objetivos que os alunos podem ter. Por exemplo, alguns alunos estão orientados pelo objetivo de compreender e dominar a área de estudo enquanto outros, em contraposição, apenas pretendem completar a tarefa, alcançar uma nota para passar ou mesmo competir com os colegas pela melhor nota. Essas diferenças de objetivo desempenham papel fundamental no processo de aprendizagem (Pintrich, Marx & Boyle, 1993, p.176). Assim, é importante que o professor crie um ambiente que valorize o

domínio do conteúdo e não a simples finalização da tarefa ou a competição pela melhor nota.

Por fim, é importante pensar a relação professor-aluno e o ambiente de ensino que daí resulta. A relação professor-aluno (e seus diferentes pontos de vista) são fatores significativos na determinação da natureza e qualidade do engajamento do aluno com a tarefa de ensino e seu aprendizado (Rickinson, Lundholm & Hopwood, 2009). Existe aqui uma diferença considerável entre uma situação de aprendizagem na qual o aluno não possui opinião formada e uma situação em que o aluno possui opiniões robustas sobre o tema. Na medida em que o aluno possui um compromisso considerável com sua concepção prévia, tal conhecimento prévio pode tornar-se um obstáculo para novos aprendizados. Assim, é importante estar atento à diferença entre ter disposição para aprender algo e ter disposição para reexaminar suas próprias convicções prévias (Dole & Sinatra, 1998). Novamente, em se tratando de temas científicos polêmicos como evolução, energia nuclear e mudanças climáticas é plenamente possível que o professor possa se deparar com tais situações. Assim, é importante que o professor preste atenção às diferenças de opinião e “visões de mundo” que podem surgir em classe, na medida em que podem provocar reações e conflitos negativos que podem comprometer o aprendizado. Neste sentido, promover um ambiente de aprendizado em que é valorizado o cultivo da “mente aberta”, da harmonia e respeito, do exercício reflexivo e do diálogo sadio é essencial para abordagem de temas ambientais complexos.

Estas são algumas considerações sobre aprendizagem que fornecem importantes pistas ao ensino e aprendizagem de QSCs em sala de aula. Tratar da aprendizagem no contexto ambiental requer tomar em consideração as diferentes dimensões da aprendizagem ambiental, reconhecendo que o aluno traz para a sala de aula concepções, preferências e valores que moldam o processo de aprendizagem. Ao mesmo tempo, é necessário prestar atenção a uma série de fatores cognitivos, motivacionais e contextuais da sala de aula, de modo a viabilizar as condições para a ocorrência da aprendizagem.

### **3.2 Letramento científico e autonomia intelectual no ensino de QSCs**

Como visto, a abordagem de ensino por meio de QSCs deposita forte ênfase na educação científica voltada para a cidadania, dando destaque à capacidade argumentativa do aluno, à atitude crítica e à tomada de decisão. De fato, historicamente tradições do ensino de Ciências como o construtivismo e o movimento CTS (Ciência Tecnologia e Sociedade) têm depositado forte ênfase em um ensino que fomente a autonomia intelectual do aluno, em que

o aluno seja capaz de, por conta própria, acessar as razões e evidências que dão suporte a determinada teoria ou alegação científica (Norris, 1995). Apesar de estes serem objetivos louváveis, a presente seção lança alguns comentários críticos sobre o ideal da *autonomia intelectual* do aluno. Como veremos, julgamos que essa crítica seja relevante para a formulação de propostas de ensino e aprendizagem de questões sociocientíficas.

Em primeiro lugar, podemos iniciar observando que a execução do ideal da autonomia intelectual depara-se com limites práticos quando nos voltamos para campos científicos complexos. Além disso, uma ênfase excessiva na autonomia intelectual do aluno pode também ter consequências indesejadas para o ensino, inculcando no aluno uma atitude crítica que o levaria a duvidar ou mesmo tornar-se cético com respeito aos especialistas e à própria ciência de determinada área<sup>26</sup>. De fato, como visto na revisão da literatura, a posição que elege a dúvida e o ceticismo como objetivos da educação científica é explicitamente adotada por Bryce e Day (2014), Santos (2014) e Colucci-Gray (2014).

Vimos, contudo, que autores como Fensham (2014) e Levinson (2012, 2008) discordam dessa posição, apontando para as consequências indesejadas de um ceticismo desmedido e defendendo que a “confiança” (*trust*) é um ingrediente igualmente importante da educação científica. Como escreve Levinson (2012) no contexto da temática do aquecimento global:

Ao ensinar e discutir aquecimento global deve-se evitar a via de priorizar o desenvolvimento de “know-how” suficiente para questionar especialistas, embora uma compreensão básica do processo seja importante. Ao em vez disso é preciso concentrar-se em desenvolver a compreensão dos processos sociais através dos quais os fatos são tornados públicos, e como a confiança e o ceticismo dessas relações apoiam o papel da ciência como conhecimento condicional, mas evitando o relativismo que dá credibilidade aos cétricos do clima. (Levinson, 2012, p. 695).

Uma discussão detalhada do tema da autonomia intelectual no ensino é apresentada por Norris (1995) e é a partir deste autor que desenvolveremos nossas reflexões. Norris (1995) aborda a questão sob uma perspectiva epistemológica, tomando várias referências que abordaram o tema da confiança e da dependência epistêmica, como Rom Harré, Michael Polanyi e John Hardwig, e argumentando em favor da necessidade de um equilíbrio entre o ceticismo e a confiança nos especialistas.

---

<sup>26</sup> Encontramos também uma postura crítica com respeito a ciência e aos especialistas nas abordagens CTS com autores como Auler e Delizoicov (2001).

Num primeiro momento, Norris (1995) discute o caráter comunitário do fazer científico. A ciência é uma prática conduzida por uma comunidade de cientistas governada por uma ordem moral de respeito a uma elite de especialistas formada por membros que possuem conhecimento e habilidades para a prática da ciência. Tal ordem moral estaria baseada em um princípio do tipo “diga apenas o que você honestamente acredita ser verdade” (Ibid., p. 204), onde aquilo que se pode crer de forma honesta é o que foi justificado usando os métodos e padrões sancionados pela comunidade científica. Procedimentos adicionais, como o processo de revisão por pares (*peer review*), têm a função de checar se os métodos e padrões da comunidade foram seguidos<sup>27</sup>.

Uma das principais consequências da característica comunitária da atividade científica é a dependência epistêmica entre pares especialistas. Na medida em que a comunidade científica é formada por nichos de especialidades, nenhum dos membros da comunidade científica é particularmente capaz de dominar todos os aspectos e facetas de um dado problema investigado. Muitos artigos científicos da atualidade são escritos por grupos (times interdisciplinares) envolvendo dezenas de cientistas.

Norris (1995) menciona o exemplo dado por Harwig (1991) de um artigo da *Physical Review Letters* escrito por 91 autores em que os próprios autores reconheciam que nenhum deles teria o conhecimento e habilidade para realizar o experimento individualmente. Assim, destaca Norris (1995, p. 207) “nenhum cientista pode ter razões para todas as proposições da ciência que ele aceita, nenhum cientista pode depender apenas dos resultados da sua investigação individual”.

Como consequência dessa dependência epistêmica, a confiança no trabalho dos colegas (pares) cientistas é um ingrediente essencial e necessário ao desenvolvimento científico na atualidade. Cientistas não são independentes nem mesmo em seu campo de especialização, onde também precisam confiar nos resultados dos colegas. Aqueles que não confiam não podem ter acesso à melhor evidência disponível (Norris, 1995). Neste sentido, na medida em que especialistas não possuem independência epistêmica completa para com seus pares, o que devemos então concluir sobre a independência epistêmica ou autonomia intelectual do não especialista para com o especialista?

Norris (1995) observa que a afiliação à ciência vem em vários graus. Alguns

---

<sup>27</sup> É claro que, como observa Norris (1995), tais procedimentos e métodos não são infalíveis e falsidades podem, inclusive, não serem detectadas por vários anos.

indivíduos passam a se tornar especialistas através de estudos de doutorado, pós-doutorado e carreiras como pesquisadores. Há aqueles que estudam a ciência num nível intermediário de profundidade e outros que adquirem apenas uma breve introdução à ciência. Assim, embora o grau de afiliação à ciência ocorra num contínuo, pode-se distinguir entre três níveis de afiliação: o cientista especialista, o professor de ciências da escola e o leigo que frequentou apenas a escola até o nível médio. Segundo Norris (1995), em cada nível de afiliação há uma dependência epistêmica com aquele que possui um nível maior de afiliação.

Voltando para a temática do ensino de QSCs, em se tratando de campos científicos complexos é importante reconhecer que em muitos aspectos há uma forte dependência epistêmica entre não especialistas e especialistas. Na medida em que o conhecimento científico envolvido em QSCs é, em geral, um conhecimento científico de fronteira, é um objetivo ineficaz, irreal, esperar que os alunos alcancem um domínio completo dos conceitos científicos envolvidos ou que alcancem uma autonomia intelectual frente a tais tópicos complexos (Levinson, 2008, p. 134; Kolsto, 2001).

Contudo, isso não significa que estudantes devam aderir cegamente à opinião do especialista. Pelo contrário, Norris (1995) observa que estudantes devem ser orientados sobre o sentido em que o conhecimento repousa na autoridade, mas alertando que tal autoridade é falível. Embora o acesso ao conhecimento científico ocorra, para a maioria de nós, através do esforço e testemunho de especialistas, é importante que o aluno saiba questionar e buscar outras opiniões científicas sobre determinada questão.

Porém, ao defender o ensino através de uma atitude crítica e do exercício de um ceticismo sábio, Norris (1995) alerta que o objeto deste ceticismo deva ser a crença no especialista e não na evidência que dá suporte à alegação científica por ele defendida. Ou seja, não é função do não especialista avaliar a evidência científica (sobre se determinado corpo de evidências justifica uma proposição científica). De fato, essa posição que Norris (1995) sustenta a partir dos estudos de Rom Harré e Michael Polanyi encontra também suporte nos estudos de Thomas Kuhn, que na obra *A Estrutura das Revoluções Científicas* destaca o papel do treino e da iniciação científica, necessários para a interpretação de dados e resultados científicos. Escreve Kuhn (1970):

Uma das leis mais fortes, ainda que não escrita, da vida científica é a proibição de apelar a chefes de Estado ou ao povo em geral quando está em jogo um assunto relativo à ciência. O reconhecimento da existência de um grupo profissional competente e sua aceitação como árbitro exclusivo das realizações profissionais

possui outras implicações. Os membros do grupo, enquanto indivíduos e em virtude de seu treino e experiências comuns, devem ser vistos como os únicos conhecedores das regras do jogo ou de algum critério equivalente para julgamentos inequívocos. (Kuhn, 1970, p. 212).

Isso não significa que o ensino do conteúdo científico (conceitos, princípios, estrutura matemática etc.) não seja importante para o letramento científico. Possuir uma compreensão de conceitos científicos, mesmo que num nível intermediário, pode desempenhar um papel importante na avaliação do testemunho de um especialista. Assim, por exemplo, se um especialista dirige-se à esfera pública fazendo uma alegação pseudocientífica que está em flagrante contradição com a ciência amplamente estabelecida (por exemplo, de que o efeito estufa da Terra não existe) o leigo iniciado na ciência que compreende os aspectos básicos do fenômeno em questão terá elementos à sua disposição para formar uma opinião sobre o testemunho do especialista. A suspeita de que algo possa estar errado com o testemunho do aparente especialista pode, então, levar o leigo a buscar uma segunda opinião ou mesmo, o que seria desejável, averiguar qual é a posição da comunidade científica mais ampla sobre o tema<sup>28</sup>.

Fica evidente que este último requisito trás novamente a questão da dependência epistêmica. Como observa Norris (1995), evocando a posição de Hardwig (1985, 1991), o teste mais confiável que os estudantes têm à mão para averiguar a adequação epistêmica de suas crenças científicas é verificar se a comunidade endossa essas crenças. Em suma, no campo científico a autoridade epistêmica não reside no indivíduo, mas em comunidades de especialistas.

Temos, assim, que embora o leigo não possa ter independência epistêmica com respeito a julgamentos sobre se determinado corpo de evidências apoia uma hipótese, ele pode adquirir alguma independência epistêmica no que diz respeito à avaliação sobre quais são os especialistas confiáveis de determinada área. Como descreve Norris (1995), a tarefa do não especialista “é determinar quem são os membros mais respeitados da comunidade científica, usando os julgamentos dos membros da própria comunidade científica”.

Podemos, assim, concordar com Fensham (2014) quando defende que o objetivo educacional da ciência escolar é promover uma atitude reflexiva no aluno de modo que este

---

<sup>28</sup> De fato, a diferenciação entre a esfera científica e a esfera social (pública) é de grande importância no trato de QSCs, especialmente na análise de controvérsias científicas e na diferenciação entre controvérsias científicas legítimas e controvérsias fabricadas na esfera pública como observado anteriormente.

possa saber diferenciar entre alegações de conhecimento científico que devem ser duvidadas e aquelas em que se pode confiar. De fato, o caminho para uma educação científica que alcance esse objetivo harmonioso entre a dúvida e a confiança não é tarefa fácil e constitui, provavelmente, um dos desafios mais caros ao ensino de QSCs complexas.

### **3.3 Questões Sociocientíficas Controversas**

Como discutido anteriormente, existem questões epistemológicas complexas envolvidas quando tratamos de Questões Sociocientíficas Controversas (QSCCs). Neste sentido, esta seção visa fornecer subsídios teóricos para lidar com o desafio de tratar tópicos complexos e controversos em sala de aula. O primeiro aspecto a ser discutido, diz respeito à natureza das controvérsias científicas: em que consiste uma controvérsia científica e como decidir sobre sua existência ou não?

Para tratar desse tema tomaremos por base trabalhos da epistemologia e filosofia da ciência contemporânea que se dedicam aos temas do desacordo, consenso e controvérsia na ciência. A seção seguinte é dedicada a uma discussão sobre a pergunta: “quando devemos ensinar algo como controverso? Busca, assim, refletir a partir de trabalhos da literatura sobre um possível critério para decidir e responder a essa questão.

#### ***3.3.1 O que é uma controvérsia científica?***

Embora por muito tempo as controvérsias científicas tenham sido um tema negligenciado na filosofia da ciência, nos últimos anos importantes trabalhos voltaram-se para a discussão dessa temática (Engelhardt & Caplan, 1987; Machamer, Pera, & Baltas, 2000). Como destacam os autores desses volumes, atualmente se reconhece que episódios de controvérsias científicas são parte constituinte da atividade científica. De fato, 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 tantas, envolveram disputas e desacordos entre cientistas que se traduziram em longas controvérsias científicas.

Embora filósofos da tradição clássica<sup>29</sup> 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 mais atuais 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 algo estranho à ciência, mas sim, como uma consequência natural da existência de teorias competidoras<sup>30</sup>.

Podemos iniciar a discussão sobre controvérsia na ciência apresentando algumas características de uma controvérsia científica que permitirão refletir sobre a constituição e o término de uma controvérsia no âmbito da ciência. 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 têm o melhor caso. [...] 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,

---

<sup>29</sup> Entende-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).

<sup>30</sup> 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 controvérsias 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. Miriam Solomon (2001, p. 101) argumenta que nem o desacordo nem o consenso têm valor intrínseco na ciência, tudo depende do sucesso empírico 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. Solomon (2001) argumenta que o objetivo mais geral da ciência é o sucesso empírico.

segundo McMullin (1987), 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 tudo, 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 não competente, 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 (ser 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 autênticas<sup>31</sup>.

Dessa forma, uma controvérsia científica existe apenas quando partes substanciais da comunidade científica reconhecem 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/encerramento 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

---

<sup>31</sup> 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.

placas tectônicas pelo geólogo russo Belousov (Lugg, 1978), a resistência de Priestley frente à nova teoria do oxigênio de Lavousier (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.

Nesse sentido, McMullin (1987) considera que tais 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 discutido, tudo depende se partes substanciais da comunidade científica consideram que há mérito nas posições dos objetores. De fato, isto poderia suscitar outras questões como: *Partes substanciais? Quantos cientistas? Qual nível de consenso?* Contudo, estas são questões para as quais não é possível fornecer uma definição ou resposta em termos de números precisos (Mcmullin, 1987). Neste sentido, como discutido a seguir, avaliar adequadamente o término de uma controvérsia científica é uma tarefa que requer, necessariamente, uma análise histórica cuidadosa.

Outro aspecto importante desta abordagem da controvérsia científica é o reconhecimento do papel central da comunidade científica na avaliação de uma controvérsia científica. Como destacado anteriormente, uma vez reconhecidas as limitações da concepção clássica, que buscava por um método universal para resolver disputas e até mesmo demarcar o que é científico do pseudocientífico, 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 argumentação, debate e negociação que ocorre de forma pública no interior da comunidade científica. Como observam Machamer, Pera e 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).

Neste contexto, diversos autores têm chamado a atenção para 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 a 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 a formação de um consenso científico legítimo. A autora chama este processo crítico de “crítico transformativo” (*transformative criticism*), cuja finalidade é promover a incorporação de hipóteses, tanto quanto possível, 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 articulação 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 pela via da resolução racional quando, do ponto de vista da comunidade científica (que envolve a evidência e outros fatores epistêmicos<sup>32</sup> compartilhados pela comunidade), um dos lados da disputa desfruta de uma reconhecida vantagem em sua capacidade de responder a questões relevantes. 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; 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

---

<sup>32</sup> Entende-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).

consenso é alcançado através da ação de fatores epistêmicos, que podemos falar num término satisfatório da controvérsia. Desta 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)<sup>33</sup>.

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. Neste sentido, o conhecimento científico tem uma natureza provisória. 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 em uma controvérsia científica torna a tarefa de fornecer um veredito confiável algo extremamente delicado. Neste sentido, um veredito sobre se um determinado caso de desacordo constitui um caso legítimo de controvérsia científica, ou se determinado episódio de controvérsia científica chegou ao término via resolução racional, deve, necessariamente, envolver uma análise histórica cuidadosa<sup>34</sup>, como já dito.

Assim, 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

---

<sup>33</sup> De fato, segundo McMullin (1987), 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 (cidadãos) 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 a essa sociedade. Contudo, a controvérsia daí resultante já não é mais uma controvérsia científica.

<sup>34</sup> 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.

que o *status epistêmico* do consenso existente seja investigado. Isto é, como destacado anteriormente, é fundamental verificar se a construção do consenso ocorreu de acordo com os critérios e padrões epistêmicos que regem a comunidade científica, em especial, se as diferentes perspectivas, argumentos, objeções e linhas de evidência foram adequadamente consideradas e respondidas.

### **3.3.2 O que devemos ensinar como sendo controverso?**

Como visto até aqui, nos últimos anos tem havido uma preocupação crescente com a inserção de QSCs controversas na sala de aula (Kolsto, 2001; Sadler & Murakami, 2014)<sup>35</sup>. 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 de maneira imparcial quanto possível 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). Contudo, se por um lado um ambiente democrático de ensino e aprendizagem seja o ideal que todos buscamos, a implementação de um ensino que apresente de forma equilibrada, justa e imparcial uma QSCs requer uma reflexão pedagógica e um esforço adicional. Assim, por exemplo, se por um lado ensinar algo como sendo controverso está em contraste com ensinar algo como resolvido, podemos então perguntar: como determinar o que é controverso e o que não é controverso? O que devemos ensinar como sendo controverso? (Hand, 2008).

Michael Hand (2008) discute justamente esta questão e desenvolve uma reflexão importante para o processo de ensino e aprendizagem de QSCs. Ao partir da questão sobre “o que devemos ensinar algo como sendo controverso?”, Hand (2008) considera esta uma questão normativa, que deve ser distinguida de questões descritivas. Por exemplo, o fato de algo ser descrito ordinariamente como sendo controverso não significa que seja, de fato, algo

---

<sup>35</sup> Com a produção de diversos materiais educacionais como:  
<https://www.oxfam.org.uk/education/resources/teaching-controversial-issues>.

controverso. Essa distinção fica mais clara se considerarmos que o uso ordinário que fazemos da palavra “controvérsia” remete à palavra “disputa”. Assim, comumente quando existem disputas sobre um determinado tema, associamos essas disputas a um tema controverso. Contudo, como observa Hand (2008), a existência de disputas não é um critério adequado (e suficiente) para decidir se algo deve ser ensinado como sendo controverso. Existem atualmente diversos contextos públicos, como nas redes sociais, em que se manifestam publicamente 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 sendo controversa. Muito pelo contrário, temos ampla evidência (tanto empírica quanto racional) de que esta é uma questão resolvida na comunidade científica.

Para evitar esse tipo de consequência indesejada, Hand (2008) recomenda a adoção de um critério epistêmico (normativo), ao invés do descritivo, para decidir sobre o que deve ser ensinado como controverso. Tal critério pode ser enunciado da seguinte maneira: *“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, p. 214, grifo nosso). O critério epistêmico de Hand (2008) nos remete justamente ao que foi discutido anteriormente sobre a epistemologia do desacordo. ou seja, de que uma questão deve ser ensinada como controversa quando, de fato, existe um desacordo racional sobre ela. Poderíamos então reescrever um princípio equivalente ao de Hand nos seguintes termos: *uma questão deve ser ensinada como controversa se existir um desacordo racional sobre tal questão* (Feldman & Warfield, 2010).

Como observado por Hand (2008, p. 217), o critério epistêmico requer que as visões em disputa sejam julgadas de acordo com as evidências e razões que se oferecem em seu suporte. Assim, sempre que cada lado da disputa apresenta **argumentos e evidências legítimas, existindo um desacordo racional sobre determinada questão**, professores devem apresentar tais visões da maneira mais imparcial possível. Adotar o critério epistêmico significa reconhecer o papel da racionalidade na educação, cujo objetivo central é promover o pensamento e ação racional, conduzindo os alunos a avaliar e a julgar posições a partir da evidência e dos argumentos disponíveis (Ibid., p. 218).

Para Hand (2008, p. 228), 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 tanto o pensamento como a ação racional.

Concordamos com Hand (2008) sobre a importância de adotar o critério epistêmico para decidir sobre o que ensinar como controverso. Contudo, quando nos voltamos para o campo científico, deparamo-nos novamente com a questão dos limites da autonomia intelectual, inclusive do professor de ciências que deve decidir sobre o que ensinar como controverso do ponto de vista científico. Podemos, assim, nos perguntarmos sobre quais as recomendações que podemos fornecer ao professor, dada a dificuldade em decidir se um caso de desacordo entre especialistas constitui um desacordo racional (uma controvérsia científica) ou se é um desacordo em que um ou ambos os lados não são racionais, mas movidos por vieses e pré-juízos individuais.

É justamente neste contexto (sobre a decisão do que ensinar como controverso) que a discussão epistemológica anteriormente apresentada sobre controvérsias científicas nos parece de extrema importância. De fato, como visto, situações de debate na esfera pública entre especialistas não permitem respostas simples, de modo que uma investigação mais detalhada dos argumentos e dos protagonistas envolvidos é necessária a fim de distinguir uma controvérsia científica legítima de uma controvérsia fabricada na esfera pública (este ponto é discutido com mais detalhe na seção 5.3.2).

Como visto na discussão sobre controvérsias científicas, decidir se um caso de desacordo entre cientistas é uma controvérsia científica requer um olhar para a comunidade científica mais ampla (que inclui as publicações em revistas especializadas, os relatórios de instituições científicas – organizações, uniões e academias), bem como, um olhar meticuloso para a História da ciência. Contudo, tal avaliação requer uma compreensão da natureza social da ciência (Kolsto, 2001), ou seja, um entendimento de que a ciência não é praticada por cientistas isolados, mas é construída por uma comunidade de especialistas em constante comunicação e crítica e também em constante evolução.

## 4. REFERENCIAL METODOLÓGICO

Este capítulo é dedicado à discussão da metodologia empregada na pesquisa desenvolvida nos Estudos 2 e 3. No Estudo 2 é feito um levantamento de opiniões e entendimentos de licenciandos em Física (e áreas afins) e professores de Física (e áreas afins) sobre a temática do aquecimento global e mudanças climáticas por meio de um questionário misto, que inclui questões fechadas e questões abertas. No Estudo 3 é realizada uma intervenção didática, com a aplicação de um módulo de ensino sobre a temática do aquecimento global, numa turma de sétimo semestre da graduação em Licenciatura em Física.

Neste sentido, para a realização dos Estudos 2 e 3 faremos uso tanto da metodologia quantitativa como da metodologia qualitativa. A Seção 4.1 descreve a metodologia quantitativa empregada no estudo, destacando os procedimentos teóricos e estatísticos empregados no desenvolvimento, análise e validação do questionário. Na Seção 4.2 descreveremos a metodologia qualitativa de *Análise de Conteúdo* na perspectiva desenvolvida por Laurence Bardin (2004), utilizada para a análise qualitativa das questões abertas propostas no Estudo 2 e 3. Por fim, na Seção 4.3 apresentamos uma descrição de alguns dos aspectos da metodologia qualitativa de *Estudo de Caso* que será empregada no desenvolvimento e aplicação do Estudo 3.

### 4.1 Aspectos da metodologia quantitativa

Como já observado, o Estudo 2 envolve a aplicação de um questionário, constituído de questões abertas e fechadas, junto a licenciandos e licenciados em Física. Neste sentido, seguindo Creswell (2012), pode-se notar que o Estudo 2 pode ser compreendido como um estudo de metodologia mista, ou seja, aquele em que tanto dados quantitativos e qualitativos são considerados. Como destacado por Creswell (2012, p.535), a combinação de dados quantitativos e qualitativos fornece uma compreensão mais aprofundada do problema de pesquisa, pois questões fechadas usadas na metodologia quantitativa, embora muito úteis, podem não revelar detalhes importantes que, possivelmente, podem ser acessados através da análise das respostas de questões abertas. Dentro da metodologia mista, adotamos a perspectiva em que ambos os tipos de dados, quantitativos e qualitativos, são coletados simultaneamente e analisados separadamente. Após a análise, os resultados são, então, comparados e interpretados visando entender se os dados se complementam ou se

contradizem. Por exemplo, pode-se apresentar primeiro os resultados da análise estatística descritiva e, então, apresentar passagens da análise qualitativa que confirmam ou infirmam os resultados estatísticos (Creswell, 2012, p.542). No processo de convergência dos dados o pesquisador atribui o mesmo peso a ambos, dados quantitativos e qualitativos. Novamente, a ideia é de que o uso combinado de dados quantitativos e qualitativos possa ajudar a superar as fraquezas de ambos os métodos.

Pesquisas quantitativas envolvendo a aplicação de questionário requerem em primeiro lugar o instrumento de medida (o questionário). Neste sentido, pode ser necessária a construção do instrumento de medida, envolvendo primeiramente a etapa de validação de conteúdo do questionário. O processo de validação de conteúdo do questionário desenvolvido (Apêndice A) é descrito em maior detalha na Seção 6.1. Lembrando que a validade de conteúdo visa averiguar se os itens que compõem o questionário são, do ponto de vista teórico, indicadores da variável a ser medida, a saber, o construto (Silveira, 1993).

Uma vez de posse do instrumento de medida (questionário) procede-se para a coleta dos dados dos participantes da pesquisa. Aqui podem ser utilizados métodos de amostragens diversificadas que visam assegurar que a amostra coletada é representativa da população-alvo a ser pesquisada. Contudo, na presente pesquisa não temos a pretensão de fazer inferências sobre a população de licenciandos e licenciados em Física, uma vez que a coleta de dados foi feita de forma acidental, não necessariamente aleatória, através da disponibilização do questionário em listas de e-mails do Instituto de Física (UFRGS), bem como em sites e blogs de divulgação científica como descrito na Seção 6.2. Assim, é preciso observar que as conclusões apresentadas no Estudo 2 referem-se à amostra, grupo de 104 licenciandos e licenciados, que responderam ao questionário, devendo-se evitar inferências e generalizações sobre as concepções e entendimentos da população de licenciando e licenciados em Física, população esta que, na presente pesquisa, não temos condições de definir com precisão.

A partir disso, descreveremos agora alguns dos procedimentos estatísticos empregados na análise dos dados coletados. Em primeiro lugar, pode-se observar que para a análise estatística das questões fechadas do questionário, utilizamos dois programas de estatística JASP (<https://jasp-stats.org/>) e Jamovi (<https://www.jamovi.org/>), que são *softwares* livres de fácil utilização.

A primeira parte da análise envolve a apresentação dos resultados utilizando procedimentos da estatística descritiva como gráficos de distribuição de frequências, médias e desvios padrão das respostas para os diferentes grupos de respondentes e gráficos de barras

para as questões do tipo *likert*. Na presente análise as variáveis (questões) do tipo *likert* são tratadas como contínuas, isso se justifica, uma vez que a literatura considera que itens do tipo *likert* podem ser tratados como variáveis contínuas, sem prejuízo para a análise (Carifio & Perla, 2007).

No processo de validação de construto do questionário, a literatura da área de psicometria sugere a utilização de duas técnicas estatísticas, a saber, a *análise fatorial* e a *análise de consistência interna* (Pasquali, 2013). A análise fatorial permite avaliar a unidimensionalidade dos itens que compõe o teste, isto é, se os itens estão medindo uma única e mesma coisa (Pasquali, 2013). Assim, a análise fatorial permite verificar se uma série de itens pode ser reduzida a um único fator (traço latente ou construto) com o qual todas variáveis (itens) do questionário estão relacionadas. Itens que possuem alta carga fatorial (superior a 0.3) são itens unidimensionais que medem o mesmo fator (Pasquali, 2013). Uma vez realizada a análise fatorial, pode-se proceder para a análise de consistência interna dos itens que medem o mesmo construto. No presente estudo, a análise de consistência interna (ou estimativa da fidedignidade do teste) empregada consiste no método do cálculo do coeficiente *alfa de Cronbach*, onde valores aceitáveis para o *alfa*, em pesquisa educacional, sugeridos pela literatura, variam de 0.7 a 0.95 (Tavakol & Dennick, 2011).

Finalmente para investigar se existe diferença entre os grupos de respondentes (para as diversas variáveis obtidas no questionário) com relação ao score AGA (veja Seção 6.4) empregou-se a técnica estatística conhecida como “análise da variância” (ANOVA) que é destinada a comparar médias entre grupos. Numa análise de variância (ANOVA), deve-se atentar para a estatística F e a significância estatística (p). A estatística F consiste em dividir a variância entre os grupos pela variância dentro dos grupos. Assim, para que exista diferença entre as médias dos grupos, deve-se obter valores de F superiores a 1 (um). Contudo, para que a diferença entre os grupos seja significativa (não ocorrida ao acaso), devemos ter valores de significância estatística menores que 0,05 ( $p < 0,05$ ).

Com isso temos uma descrição geral de alguns dos procedimentos estatísticos empregados no Estudo 2. Ao longo do Estudo 2, os detalhes de cada técnica e da sua interpretação serão complementados e discutidos.

## 4.2 Análise qualitativa na perspectiva da análise de conteúdo de Bardin

Segundo Bardin (2004, p.25), a análise de conteúdo é uma metodologia empírica que tem por objetivos a superação das aparências e o enriquecimento da leitura, ou seja, o desejo de alcançar rigor e a necessidade de “descobrir” expressam as linhas de força do seu desenvolvimento até os dias de hoje. Em linhas gerais, a análise de conteúdo é um “[...] conjunto de técnicas de análise de comunicações, que utiliza procedimentos sistemáticos e objetivos de descrição do conteúdo das mensagens” (ibid., p.33). Na abordagem de Bardin (2004) a análise de conteúdo é dividida em três polos cronológicos: (1) a pré-análise; (2) a exploração do material; (3) o tratamento dos resultados, a inferência e a interpretação (ibid., p. 89).

A pré-análise é a fase de organização propriamente dita, cujo objetivo é tornar operacionais e sistematizar as ideias iniciais. Envolve a escolha de documentos a serem analisados, a formulação de hipóteses e de objetivos e a elaboração de indicadores que fundamentem a interpretação final. A ordem desses elementos pode variar. Por exemplo, a escolha dos documentos pode depender dos objetivos (e vice-versa) e os indicadores podem ser construídos a partir das hipóteses (e vice-versa). Para Bardin (ibid., p. 90) uma vez constituído um *corpus* de documentos, o primeiro contato com o texto deve ocorrer na forma de uma “leitura flutuante”, onde o pesquisador se deixa invadir por impressões e orientações até que, pouco a pouco, a leitura vai se tornando mais precisa, em função de hipóteses emergentes e de teorias adaptadas sobre o material. A elaboração de hipóteses pode ocorrer a partir de leituras prévias, pela análise *a priori* do problema ou do conhecimento que se possui deste. A hipótese é vista como uma afirmação provisória que queremos confirmar ou infirmar durante os procedimentos de análise.

Contudo, a análise de conteúdo também dispensa a existência de hipóteses iniciais. Assim, algumas vezes a análise pode ocorrer às cegas, sem ideias pré-concebidas (ibid., p. 92). Por sua vez, a escolha de índices e indicadores é parte importante do trabalho preparatório, sendo que sua escolha também depende da existência, ou não, de hipóteses iniciais. Os índices podem se referir a um tema numa mensagem, enquanto que o indicador pode se referir à frequência de ocorrência desse tema. Por fim, antes de proceder à análise propriamente dita, o material deve ser preparado. Por exemplo, entrevistas gravadas são transcritas na íntegra, respostas a questões abertas são anotadas em fichas e assim por diante (ibid., p. 94).

Após essas etapas da pré-análise, inicia-se a análise propriamente através da exploração do material. Segundo Bardin (2004, p. 95), esta fase longa e fastidiosa consiste essencialmente de operações de codificação e enumeração em função de regras previamente formuladas. Em primeiro lugar, a autora (ibid., p. 97) destaca que é preciso saber a razão (o porquê) da análise para saber como analisar. Neste sentido, a autora destaca a importância de se especificar hipóteses iniciais e de se enquadrar a técnica dentro de um quadro teórico, exceto é claro, que se trate de um estudo exploratório.

A codificação corresponde a uma transformação, segundo regras precisas, que permite atingir uma representação do conteúdo. Ou seja, a “[...] codificação é o processo pelo qual os dados brutos são transformados sistematicamente e agregados em unidades, as quais permitem uma descrição exata das características pertinentes do conteúdo” (Bardin, 2004, p. 97). A organização da codificação compreende três escolhas: o recorte (escolha das unidades); a enumeração (escolha das regras de contagem); a classificação e a agregação (escolha das categorias).

O recorte diz respeito às unidades de registro e de contexto. A unidade de registro é a unidade de significação a codificar. Entre as unidades de registro usuais podem-se citar a palavra, o tema, o objeto, o personagem, o acontecimento, o documento (ibid., p. 98). A unidade de contexto serve de unidade de compreensão para codificar a unidade de registro. Por exemplo, a frase para a palavra e o parágrafo para o tema. Contudo, muitas vezes é necessário fazer referência a uma unidade de contexto mais ampla para compreender uma mensagem (ibid., p. 101). A enumeração envolve a escolha das regras de contagem. Entre as regras de contagem usuais temos a presença (ou ausência), a frequência, a frequência ponderada, a intensidade, a ordem, a direção e a concorrência (ibid., p. 102). Por fim, um aspecto central da codificação é a produção de um sistema de categorias. A escolha de categorias é uma operação de classificação dos elementos constitutivos de um conjunto, buscando identificar o que os elementos têm em comum entre si. Categorias são rubricas ou classes que reúnem as unidades de registro sob um título genérico, fornecendo uma representação simplificada dos dados brutos. Exemplos de critérios de categorização são o semântico (um tema), o sintático (verbos, adjetivos), o lexical (sinônimos) e o expressivo (perturbações da linguagem) (ibid., p. 111).

Bardin (ibid., p. 112) sugere que a categorização compreenda duas etapas, o inventário (isolar os elementos) e a classificação (repartir os elementos impondo uma categorização).

Finalmente, o tratamento dos resultados envolve a inferência, que é um tipo de

interpretação que consiste em alguma forma de inferência indutiva. Assim, a inferência visa investigar as causas (variáveis inferidas) a partir dos efeitos (variáveis de inferência ou indicadores; referências no texto) (ibid., p. 130). Exemplos de variáveis inferidas são: a inteligência, a facilidade de comunicação, a origem racial, a ansiedade, a agressividade, as atitudes e valores, a motivação, etc. Tais inferências podem ser obtidas de índices como: unidades lexicais, estruturas sintáticas, pausas, erros, etc. Por fim, neste processo de interpretação dos dados via inferência, também é importante retornar ao referencial teórico buscando dar sentido à interpretação.

### **4.3 A metodologia qualitativa de estudo de caso**

Estudo de caso é uma abordagem de pesquisa qualitativa que facilita a exploração de um fenômeno dentro de seu contexto real utilizando uma variedade de fontes de dados (Baxter & Jack, 2008, p. 544). Neste sentido, o fenômeno é explorado em suas múltiplas dimensões considerando uma variedade de perspectivas que podem surgir da análise de entrevistas, questionários abertos, observação participante, grupos focais, etc.

A abordagem de estudo de caso também assume como pressuposto epistemológico o construtivismo, assim, reconhece que o conhecimento é uma construção social em constante transformação. Esses elementos indicam que o pesquisador que utiliza a metodologia de estudo de caso deve ser flexível e estar aberto a novas perspectivas e novos aspectos que surgem no decorrer do trabalho, evitando um fechamento em torno de seu referencial teórico (André, 2013, p. 97).

Um aspecto importante do estudo de caso é a escolha do caso, ou seja, a unidade de análise propriamente. Segundo Merriam (2009, p. 40), é justamente a unidade de análise a característica definidora de um caso, ou seja, um caso consiste num sistema limitado (*bounded system*). Neste sentido, o caso e a respectiva unidade de análise poderão ser uma pessoa, um grupo de pessoas, um programa, uma organização, uma comunidade, um processo, etc. (Baxter & Jack, 2008; Merriam, 2009; Yazan, 2015).

Uma vez determinado o caso, é importante delimitar o escopo, evitando questões muito amplas com objetivos variados. Essa delimitação pode envolver o estabelecimento de fronteiras como tempo, lugar e contexto que ajudarão a identificar o que será estudado e o que não será estudado (Baxter & Jack, 2008, p. 547). Em alguns casos, também é importante

considerar proposições de estudo iniciais (se houver), pois elas ajudam a dizer onde procurar a evidência relevante e, assim, ajudam a dirigir a atenção do pesquisador para o que deve ser examinado dentro do escopo do estudo.

Uma vez delimitado o foco do estudo o pesquisador pode proceder à coleta de dados. Como já destacado, no estudo de caso pode-se recorrer a diversas formas de coleta de dados. André (2013, p. 99) destaca três métodos de coleta de dados, a saber: “**fazer perguntas** (e ouvir atentamente), **observar eventos** (e prestar atenção no que acontece) e **ler documentos**”. Fazer perguntas pode envolver a entrevista. Este é um dos meios mais importantes de coleta, contudo, fazer uma boa entrevista é difícil e requer um cuidadoso planejamento do roteiro para que os objetivos sejam atingidos. As observações envolvem um registro detalhado e claro dos eventos, registrando inclusive o contexto no qual está inserido o caso. Por sua vez, a análise de documentos pessoais, legais, administrativos, etc., é importante, pois possibilita complementar informações obtidas por outras fontes (ibid.).

Uma característica especial dos estudos de caso é de que estes são *particularistas*, *descritivos* e *heurísticos* (Merriam, 2009, p. 43). Ser particularista significa que o estudo de caso tem por foco uma situação, evento, programa ou fenômeno, reforçando o valor intrínseco de se estudar um caso particular (ibid.). Ser descritivo significa que o produto final de um estudo de caso consiste numa rica descrição de um fenômeno, incluindo tantas variáveis quantas for possível e podendo-se recorrer a diversas técnicas literárias de escrita. Por fim, o elemento heurístico visa iluminar a compreensão do leitor sobre o fenômeno de estudo. Um estudo de caso pode trazer à tona novos significados e relações que anteriormente eram desconhecidas sobre aquele fenômeno (ibid.). Assim, o valor do estudo de caso reside justamente em sua capacidade de captar a complexidade de cada caso particular.

## 5. ESTUDO 1: ESTUDO TEÓRICO

Como discutido no referencial teórico desta tese, um ensino que busque qualificar os cidadãos para a tomada de decisões responsáveis diante de questões sociocientíficas (QSCs) deve promover conhecimentos e reflexões sobre o conteúdo científico envolvido, bem como sobre as características do conhecimento científico relacionado à QSC (Kolsto, 2001). Neste sentido, o primeiro estudo realizado nesta investigação constitui um estudo teórico em que foram eleitos três temas ou dimensões, acepção de Bardin (2004), que visam atender a dimensão do conteúdo científico (Tema 1), a história da ciência das mudanças climáticas e a dimensão da natureza do conhecimento científico (Temas 2 e 3). De fato, a definição desses temas e seus conceitos foi sendo desenvolvida ao longo da pesquisa, na medida em que se buscava responder à questão de pesquisa do presente estudo, a saber: *Quais são alguns dos principais conceitos físicos, temas epistemológicos e debates históricos relacionados à temática do aquecimento global e necessários para a introdução da temática na sala de aula de Física em cursos de licenciatura?*

Neste sentido, cada um dos temas eleitos constitui subseções específicas do presente capítulo, a saber: *Tema 1: Física básica do efeito estufa e aquecimento global; Tema 2: História da ciência do aquecimento global; Tema 3: Consenso e controvérsia sobre aquecimento global*<sup>36</sup>.

O Tema 1 (seção 5.1) trata dos conceitos básicos da física necessários para a compreensão do fenômeno do efeito estufa e aquecimento global. Nesse sentido, foram abordados tópicos como as temperaturas planetárias, temperatura efetiva (ou de equilíbrio), espectroscopia do infravermelho, balanço de energia da Terra, bem como evidências da ação do homem relacionadas à intensificação do efeito estufa e o aquecimento global.

O Tema 2 (seção 5.2) trata da história da ciência do aquecimento global, partindo dos primeiros trabalhos científicos sobre o tema, as controvérsias desencadeadas, os protagonistas envolvidos e a comunidade científica que foi se consolidando nessa área de estudo. Esse estudo serviu-se de trabalhos de historiadores da ciência da área de climatologia e

---

<sup>36</sup> O estudo relativo ao Tema 1 teve por resultado a publicação de artigo: Junges, A. L.; Santos, V. Y.; Massoni, N. T. & Santos, F. A. C. Efeito Estufa e Aquecimento Global: uma abordagem conceitual a partir da Física para a educação básica. *Experiências em Ensino de Ciências*. v.13, n.5, p.126-151, 2018. O estudo relativo aos Temas 2 e 3 teve por resultado a publicação: Junges, A. L. & Massoni, N. T. O Consenso Científico sobre Aquecimento Global Antropogênico: Considerações Históricas e Epistemológicas e Reflexões para o Ensino dessa Temática. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*. v. 18, p. 455-491, 2018. Assim, boa parte desse capítulo é composta por conteúdo que pode ser encontrado nos respectivos artigos.

meteorologia como Spencer Weart e James Rodger Fleming.

O Tema 3 (seção 5.3) está voltado para a dimensão da controvérsia sobre aquecimento global. Assim, busca apresentar e diferenciar os aspectos consensuais dos aspectos controversos da temática. Ao mesmo tempo, apresenta-se um breve relato do debate dos cientistas da visão consensual com os denominados “céticos do clima”.

## 5.1 Da Física básica do efeito estufa ao aquecimento global

Como visto, abordar e debater a temática do aquecimento global, mesmo que em um nível básico, requer necessariamente uma compreensão do fenômeno do efeito estufa e seus conceitos correlatos. Neste sentido, esta seção inicia discutindo o conceito de temperatura planetária, passando a tratar dos gases de efeito estufa e do balanço de energia da Terra. Por fim, são apresentadas algumas evidências científicas que corroboram a existência do aquecimento global e o papel do dióxido de carbono nesse processo.

### 5.1.1 O conceito de temperatura planetária

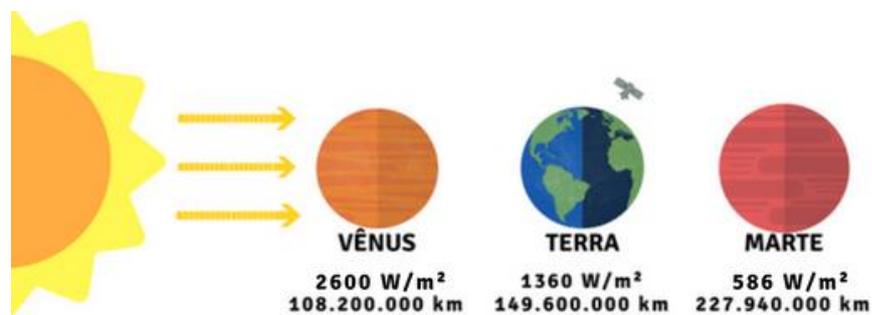
Historicamente o conceito de *temperatura planetária* foi introduzido, possivelmente pela primeira vez, pelo cientista francês Jean Baptiste Fourier (1768-1830), cujo raciocínio teria sido o seguinte: assumindo que o Sol é a principal fonte de energia para Terra, então se a Terra recebe energia do Sol ela também deve reemitir energia de volta para o espaço, pois, de outro modo, ela se tornaria cada vez mais quente. A conclusão é de que para a Terra e também para os demais planetas, deve existir uma *temperatura de equilíbrio* ( $T_e$ ) para a qual a taxa de energia absorvida é igual à taxa de energia emitida (Pierrehumbert, 2004)<sup>37</sup>.

Para tratar do conceito de temperatura de equilíbrio (ou temperatura efetiva), podemos começar considerando que o espaço interplanetário é muito próximo de um estado de vácuo, assim, a única forma de transferência de energia entre o Sol e seus planetas ocorre

---

<sup>37</sup> Cientistas também costumam empregar o conceito de *temperatura efetiva* para falar dessa temperatura de equilíbrio. Para fins de definição conceitual, a *temperatura efetiva* de um corpo é a temperatura que corresponde a um corpo negro que emite a mesma quantidade de energia por unidade de área e de tempo ( $W/m^2$ ), ou seja,  $T_{ef} = (I/\sigma)^{1/4}$ . Quando a temperatura do planeta é completamente determinada pelo fluxo solar incidente, a temperatura de equilíbrio é igual a temperatura efetiva (Lissauer & Pater, 2013). Neste artigo usaremos apenas o conceito de “temperatura de equilíbrio”.

na forma de ondas eletromagnéticas (Figura 5.1). O fluxo ou intensidade de energia solar (energia por unidade de tempo e de área) que chega ao planeta depende de fatores como a luminosidade do Sol e da distância do planeta ao Sol (Goody & Walker, 1996, p.43). A Figura 5.1 representa essa situação e exibe os valores da intensidade de energia solar que atinge os planetas Vênus, Terra e Marte e suas respectivas distâncias ao Sol. Para o caso da Terra, o valor de  $1.360 \text{ W/m}^2$  é também conhecido como *constante solar*, que representa a quantidade de energia solar por unidade de área que incide no topo da atmosfera terrestre.

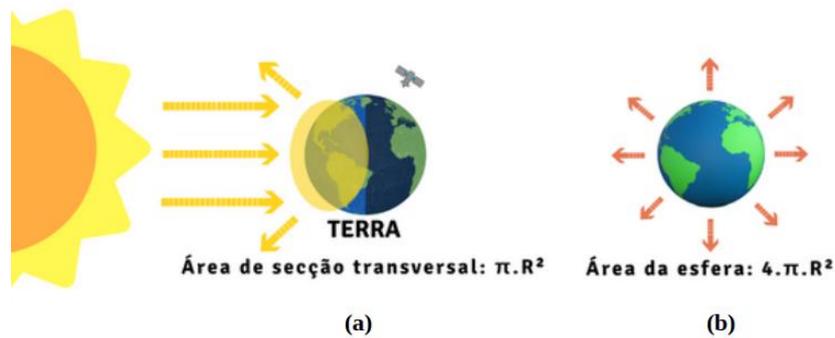


**Figura 5.1:** Intensidade da energia solar nos planetas Vênus, Terra e Marte (alertamos que a representação é ilustrativa e está fora de escala).

Porém, nem toda energia solar incidente sobre o planeta é absorvida, de modo que boa parte dessa energia é refletida de volta para o espaço pela atmosfera (incluindo as nuvens) e pela superfície do planeta. Essa quantidade de energia refletida é conhecida como o *albedo* ( $\alpha$ ) do planeta (Figura 5.2a). Além disso, como mostra a Figura 5.2a, quando observado a partir da direção dos raios solares, o planeta esférico se apresenta como um disco circular, cuja área pode ser obtida pela expressão  $\pi.R^2$ . Assim, a taxa de energia absorvida pelo planeta (ou potência) é obtida multiplicando a intensidade de energia solar ( $I$ ) pela área do disco com o raio do planeta e descontando o valor do albedo ( $\alpha$ ) do planeta. Ou seja:

$$\text{Taxa de Energia Absorvida} = \pi.R^2 \times \text{Intensidade de Energia Solar} \times (1 - \text{albedo}) = \pi.R^2.I.(1 - \alpha)$$

(Equação 1)



**Figura 5.2:** (a) Planeta absorve energia. (b) Planeta emite energia.

Contudo, para que o planeta possa ter uma temperatura de equilíbrio, ele deve reemitir energia de volta para o espaço na mesma taxa em que absorve. A taxa com que os planetas emitem energia de volta para o espaço é fornecida pela lei de Stefan-Boltzmann (Figura 5.5) que nos diz que a intensidade ( $I$ ) de energia emitida por um corpo é proporcional à quarta potência da temperatura absoluta desse corpo, ou seja,  $I = \sigma \cdot T_e^4$  (onde  $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ w/m}^2$  é conhecida como constante de Stefan-Boltzmann e  $T_e$  é a temperatura de equilíbrio do planeta dada em Kelvin). Assim, para obter a taxa total de energia (potência) emitida por um planeta é preciso multiplicar a intensidade ( $I$ ) pela área da superfície do planeta que, neste caso, corresponde à área de uma esfera cujo raio é o próprio raio do planeta em questão (Figura 5.2b)<sup>38</sup>. Ou seja:

$$\text{Taxa de energia emitida} = 4 \cdot \pi \cdot R^2 \cdot T_e^4$$

(Equação 2)

Com isso, podemos agora obter uma expressão matemática para a *temperatura de equilíbrio* ( $T_e$ ) do planeta (Equação 4), bastando, para isso, aplicarmos a condição de *equilíbrio térmico* e fazendo as simplificações necessárias:

$$\text{Taxa de Energia Absorvida} = \text{Taxa de Energia Emitida}$$

$$\pi \cdot R^2 \cdot I(1 - \alpha) = 4 \cdot \pi \cdot R^2 \cdot \sigma \cdot T_e^4$$

$$I \cdot \frac{(1-\alpha)}{4} = \sigma \cdot T_e^4 \quad (\text{Equação 3})$$

$$T_e = \sqrt[4]{\frac{I(1-\alpha)}{4\sigma}} \quad (\text{Equação 4})$$

<sup>38</sup> Para fins de simplificação estamos considerando o planeta como um emissor ideal com emissividade ( $e$ ) igual a unidade ( $e = 1$ ), equivalente a um copo negro (Goody & Walker, 1996).

Um comparativo dos respectivos valores da *intensidade* ( $I$ ) e *albedo* ( $\alpha$ ) para os planetas Mercúrio, Vênus, Terra e Marte é apresentado na Tabela 5.1. Os valores das temperaturas de equilíbrio (penúltima coluna) foram calculados usando a Equação 4, acima obtida. A última coluna exibe os valores observados (medidos) da temperatura de superfície desses planetas em Kelvin (K).

**Tabela 5.1:** Dados para o cálculo da temperatura de equilíbrio<sup>39</sup>.

Planeta	Intensidade (W/m <sup>2</sup> )	Albedo	Temperatura de Equilíbrio (K)	Temperatura Média de Superfície (K)
Mercúrio	9080	0.07	439	440
Vênus	2600	0.77	226	737
Terra	1360	0.3	255	288
Marte	586	0.25	209	210

Usando os valores da tabela obtemos uma temperatura de equilíbrio de 255 K (-18°C, ou seja, dezoito graus centígrados negativos) para a Terra. Este é um valor muito baixo. Caso a Terra tivesse uma temperatura média de -18° C a vida, como a conhecemos, não poderia existir e espessas camadas de gelo cobririam nossos continentes. Felizmente a temperatura média da superfície da Terra não é 255 K, mas sim 288 K (15° C), como mostrado na última coluna da Tabela 5.1. De fato, a última coluna apresenta as temperaturas médias da superfície dos planetas estimadas a partir de observações empíricas. Assim, temos uma distinção importante a fazer entre a *temperatura de equilíbrio* e a *temperatura de superfície* de um planeta.

Cientistas que estudam atmosferas planetárias nos ensinam que em um planeta que possui uma atmosfera substancial (consideravelmente espessa e que contém gases de efeito estufa), a radiação emitida pela superfície é absorvida por sua atmosfera antes que ela alcance o espaço exterior (e depois é reemitida em todas as direções). Dessa maneira, um instrumento localizado no espaço não detectaria a radiação emitida pelo planeta como sendo proveniente

---

<sup>39</sup> Dados planetários obtidos de <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/>. Um link que exibe uma calculadora de temperaturas efetivas de planetas está disponível em <http://www.astro.indiana.edu/ala/PlanetTemp/index.html>.

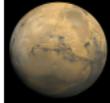
da sua superfície, mas sim de uma região emissora da atmosfera localizada a uma certa altitude (veja-se seção 4). Assim, a temperatura de equilíbrio é a temperatura dessa região emissora, enquanto os níveis inferiores da atmosfera (temperatura de superfície, por exemplo) podem apresentar temperaturas bem mais altas – como veremos nas próximas seções. A isso chamamos de “efeito estufa” (Goody & Walker, 1996, p.45).

Podemos agora entender o que acontece em Vênus e na Terra. Como demonstram os dados da Tabela 5.2<sup>40</sup>, Terra e Vênus possuem atmosferas substanciais (vejam-se as pressões atmosféricas), enquanto que Mercúrio e Marte possuem atmosferas muito tênues. Vênus é o planeta que exhibe a maior diferença entre a temperatura de equilíbrio e a temperatura de superfície e é também o planeta que possui a atmosfera mais substancial. Podemos ver que, apesar do planeta Vênus estar mais longe do Sol do que Mercúrio, a sua temperatura é consideravelmente maior que a de Mercúrio. Isso pode ser compreendido a partir de dois fatores principais: a massiva atmosfera de Vênus (pressão de 92 bar) e a elevada concentração (96%) do gás de efeito estufa dióxido de carbono. Combinados, esses fatores produzem um altíssimo efeito estufa em Vênus. Mercúrio, por sua vez, com uma atmosfera muito tênue e sem gases estufa, praticamente não possui efeito estufa. Em Marte temos temperaturas muito frias em boa medida devido a sua distância do Sol, contudo pode-se perceber que em Marte não se observa a situação de efeito estufa elevado de Vênus. Isso ocorre porque, embora Marte possua uma alta concentração de dióxido de carbono (95%), o fato de o planeta possuir uma atmosfera muito tênue ou pouco substancial (pressão atmosférica de 0,0064 bar), implica em uma baixa concentração de gases estufa, resultando em pouca capacidade de absorção de radiação infravermelha emitida pela superfície do planeta (veja seções 5.1.3 e 5.1.4).

---

<sup>40</sup> Os dados da Tabela 5.2 foram obtidos de <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/>; <http://astro.if.ufrgs.br/ssolar.htm> e Barry, & Chorley (2013),

**Tabela 5.2:** Alguns dados sobre Mercúrio, Vênus, Terra e Marte.

	<b>Mercúrio</b> 	<b>Vênus</b> 	<b>Terra</b> 	<b>Marte</b> 
<b>Temperatura média da superfície (°C)</b>	167	464	15	- 63
<b>Distância ao Sol (km)</b>	57.910.000	108.200.000	149.600.000	227.940.000
<b>Albedo</b>	0,07	0,77	0,3	0,25
<b>Pressão Atmosférica (bar)</b>	$5 \times 10^{-15}$	92	1	0,0064
<b>Composição Atmosférica</b>	Hélio(42%), Sódio (42%), Oxigênio (15%), Outros (1%)	Dióxido de Carbono (96%) Nitrogênio (3%) Argônio (0,007%)	Nitrogênio (78,08%) Oxigênio (20,95%) Argônio (0,93%) Dióxido de carbono (0,037%) Ozônio (0,000006%)	Dióxido de carbono (95,32%) Nitrogênio (2,7%) Argônio (1,6%)

### 5.1.2 A atmosfera e os gases de efeito estufa

Olhando para a Terra, é algo surpreendente que as características físicas e químicas da atmosfera terrestre sejam tão distintas das de seus vizinhos Marte e Vênus. Podemos ver que a concentração de gases atmosféricos é dominada por nitrogênio (78%) e oxigênio (21%). Entre os demais gases estão o argônio (0,9%) e gases de efeito estufa como o dióxido de carbono (0,037%)<sup>41</sup>. Embora possa parecer uma concentração baixa, o dióxido de carbono junto com outros gases estufa, como o vapor d'água, metano e óxido nitroso, são responsáveis por elevar a temperatura da Terra em cerca de 30°C acima da temperatura de equilíbrio. De fato, no que concerne à temperatura de superfície, a Terra é um ambiente muito distinto de seus vizinhos. Astrofísicos costumam fazer alusão à popular história infantil da menina dos cachinhos dourados, observando que Vênus é muito quente, cerca de 460°C na superfície, e Marte é muito frio, cerca de - 60°C superfície. A Terra possui justamente a temperatura ideal, cerca de 15°C na superfície, proporcionada pela mistura de gases ou elementos químicos adequados. A lição que podemos tirar disso é de que as temperaturas de superfície dos planetas não dependem apenas da sua distância ao Sol, mas também da presença da atmosfera

<sup>41</sup>Atualmente as concentrações de CO<sub>2</sub> já passam de 400 ppm (0,04%) <https://climate.nasa.gov/>.

e de sua composição química.

Novamente as primeiras especulações sobre o efeito estufa da Terra remetem ao trabalho de Fourier que, em um artigo de 1824, apresentado à *Académie Royale des Sciences* em Paris, especulou que a atmosfera teria um papel a desempenhar na determinação da temperatura planetária. Ele escreveu: “[...] a temperatura (da Terra) pode ser aumentada pela interposição da atmosfera, porque 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 *apud* Fleming, 1998, p. 61)<sup>42</sup>.

Contudo, os mecanismos envolvidos que tornam a atmosfera mais opaca à radiação infravermelha (calor não luminoso, nas palavras de Fourier) do que à luz visível (calor em estado de luz) eram desconhecidos à época de Fourier. Foi o engenheiro inglês John Tyndall (1820-1893) o responsável por dar um passo à frente na direção da elucidação dos mecanismos do efeito estufa e das propriedades dos gases estufa. Em 1859 Tyndall, utilizando-se de seu recém construído espectrofotômetro, concluiu que gases como o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e o vapor d'água (H<sub>2</sub>O) exibiam propriedades de absorção da radiação infravermelha, enquanto que o oxigênio (O<sub>2</sub>), nitrogênio (N<sub>2</sub>) e hidrogênio (H<sub>2</sub>) não exibiam as mesmas propriedades (Fleming, 1998, p.70)<sup>43</sup>.

Atualmente sabe-se que os principais gases de efeito estufa da atmosfera terrestre são: vapor d'água (H<sub>2</sub>O), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), CFCs e ozônio (O<sub>3</sub>) (Barry & Chorley, 2013). Como já observado, tais gases têm a propriedade de ser ativos radioativamente na faixa de comprimentos de onda longos, ou seja, absorvem radiação na faixa do comprimento de onda do infravermelho.

Ao mesmo tempo, são transparentes à radiação de comprimentos de ondas curtos como a radiação visível, ou seja, absorvem pouca ou quase nenhuma radiação visível (luz). A consequência disso é de que a radiação visível proveniente do Sol (luz) atinge com facilidade a superfície da Terra, mas a radiação infravermelha reemitida pela Terra para o espaço encontra dificuldade em atravessar a nossa atmosfera.

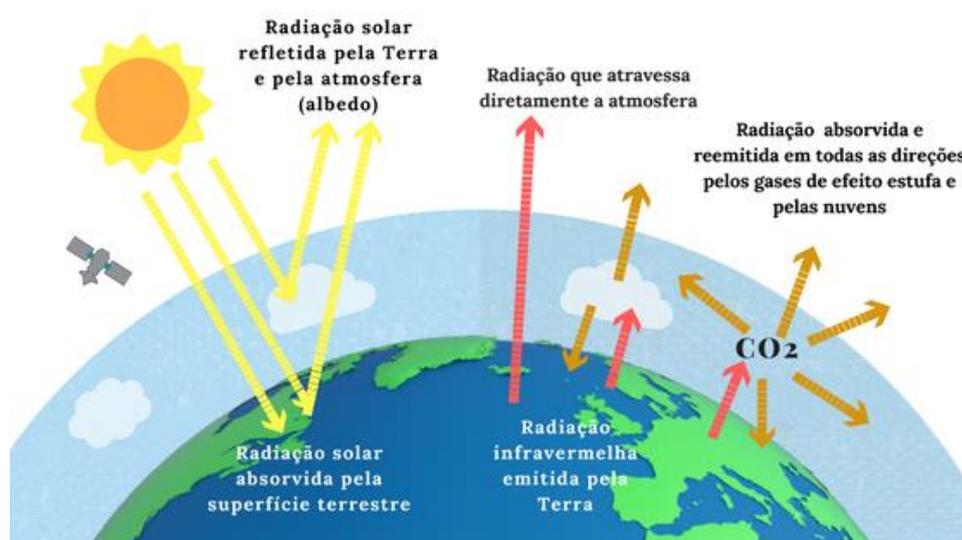
A maior parte (cerca de 70%) da radiação visível proveniente do Sol entra no sistema

---

<sup>42</sup> 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).

<sup>43</sup> Foi apenas a partir da segunda metade do século XX que os dados de medidas espectroscópicas mais precisas permitiram uma compreensão satisfatória dos gases estufa e do mecanismo de efeito estufa, ou seja, após o surgimento de trabalhos como do físico Gilbert Plass (veja seção 5.2).

terrestre (os outros 30% são refletidos e compõem o albedo) (Figura 5.3)<sup>44</sup>. Uma vez aquecida, a Terra reemite para o espaço radiação infravermelha que, por sua vez, é absorvida pelos gases estufa. Após absorverem, os gases estufa reemitem novamente radiação infravermelha em todas as direções, sendo que parte da radiação é perdida para o espaço e parte é retida na baixa atmosfera. A consequência da presença dos gases estufa é a de que a radiação infravermelha tem seu caminho para o espaço obstruído, ou seja, os gases estufa inibem a perda de radiação infravermelha para o espaço tornando a baixa atmosfera mais quente do que estaria na ausência desses gases. O efeito é análogo àquele produzido por um casaco que durante os dias frios ajuda a manter a temperatura corporal. De fato, o casaco não aquece nosso corpo, mas inibe a perda de calor para o ambiente.



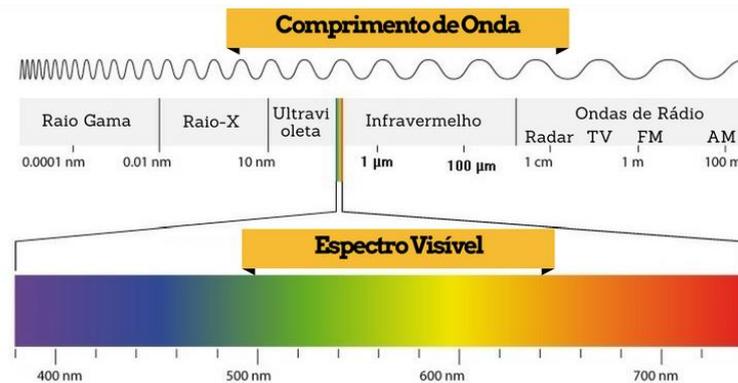
**Figura 5.3:** Desenho esquemático do efeito estufa da Terra.

Para compreender esse mecanismo é importante reconhecer a diferença entre o espectro de emissão do Sol e o espectro de emissão da Terra (Figura 5.6). Lembremos que todo corpo acima da temperatura conhecida como “temperatura absoluta” de 0 Kelvin (-273 °C) emite radiação na forma de ondas eletromagnéticas (Figura 5.4)<sup>45</sup>. Por sua vez, a potência da radiação e o tipo de radiação emitida (o comprimento de onda da radiação) dependem da temperatura em que se encontra o corpo (o planeta, por exemplo) e podem ser determinados

<sup>44</sup> O desenho foi inspirado na figura apresentada em Le Treut, et al. (2007).

<sup>45</sup> Uma característica geral das ondas eletromagnéticas é a de que se propagam com a mesma velocidade no vácuo (velocidade da luz  $c$ ), diferindo com relação a frequência e comprimento de onda. A luz visível corresponde a faixa do espectro eletromagnético entre 400 nm a 700 nm (0,4  $\mu\text{m}$  a 0,7  $\mu\text{m}$ ). As ondas infravermelhas encontram-se na faixa de 700 nm a 100.000 nm (0,7  $\mu\text{m}$  a 100  $\mu\text{m}$ ).

através da lei de Stefan-Boltzmann e da lei de Wien<sup>46</sup>.



**Figura 5.4:** Espectro eletromagnético, com destaque à estreita faixa da luz visível

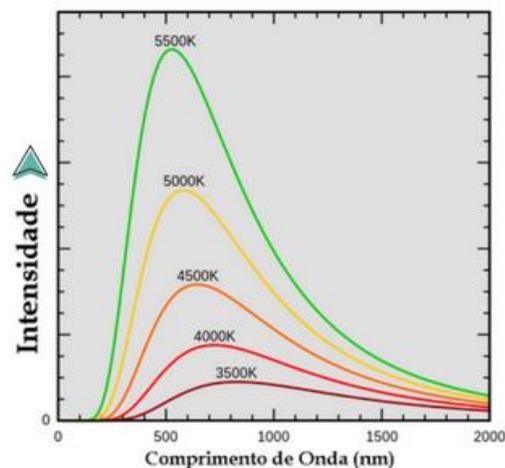
A Figura 5.5 apresenta o gráfico<sup>47</sup> da intensidade da radiação emitida versus o comprimento de onda para um corpo negro ideal (em Física, corpo negro é um *radiador ideal* cuja radiação emitida depende exclusivamente da sua temperatura). Se por um lado a intensidade máxima de radiação pode ser obtida pela lei de Stefan-Boltzmann, o comprimento de onda de máxima emissão (pico de emissão) é obtido pela lei de Wien.

#### Lei de Stefan-Boltzmann

$$I = \epsilon \cdot \sigma \cdot T^4$$

#### Lei de Wien

$$\lambda_{\text{máx}} \cdot T = 2.8976 \times 10^{-3} \text{ m.K}$$

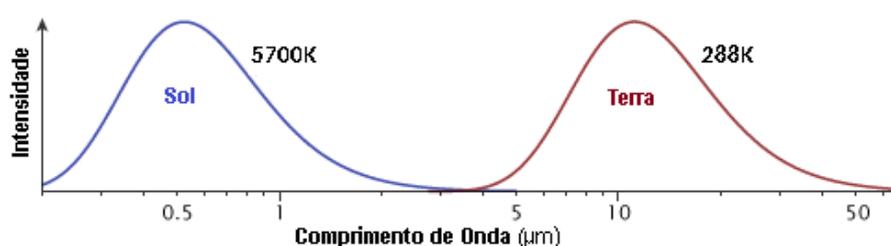


**Figura 5.5:** Intensidade da radiação emitida *versus* o comprimento de onda.

<sup>46</sup> Historicamente o estudo das características da radiação foi desenvolvido considerando a radiação emitida por um absorvedor e emissor ideal, o assim chamado corpo negro. Um corpo negro se refere a um objeto que absorve toda a radiação incidente sem refletir nada, ou seja, é um absorvedor ideal. Ao mesmo tempo, um corpo negro é um emissor ideal, de modo que em equilíbrio térmico ele emite radiação na mesma taxa em que absorve.

<sup>47</sup> Adaptado da figura [https://pt.wikipedia.org/wiki/Corpo\\_negro#/media/File:Wiens\\_law.svg](https://pt.wikipedia.org/wiki/Corpo_negro#/media/File:Wiens_law.svg).

Aplicando a lei de Wien para os dados de temperatura efetiva do Sol e da Terra, obtemos os picos de emissão (comprimento de onda de máxima intensidade) conforme a Figura 5.6<sup>48</sup>. O Sol, que está a uma temperatura de superfície de cerca de 5.700 K, emite a maior parte de sua energia na faixa de comprimentos de onda da luz visível ( $\sim 0,5 \mu\text{m}$ ). Por sua vez, a Terra que possui temperatura média de superfície de 288 K tem seu pico de emissão na faixa de comprimentos de onda do infravermelho ( $\sim 10 \mu\text{m}$ ).



**Figura 5.6:** Espectros de emissão do Sol e da Terra.

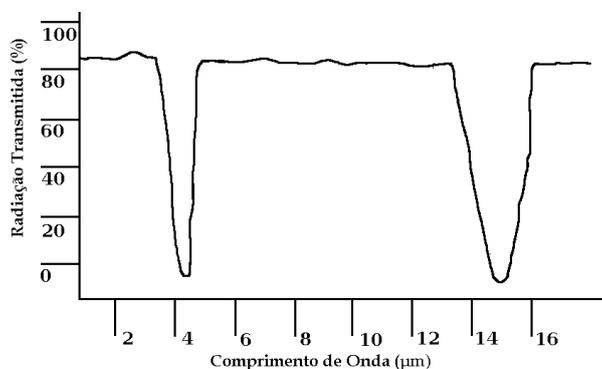
Compreendida a distinção entre a radiação solar e terrestre, podemos agora olhar mais de perto como a radiação interage com os gases da atmosfera da Terra, de modo especial, para o que na Física e na Química é chamado de espectro de absorção de uma molécula. A Figura 5.7 é uma representação<sup>49</sup> do espectro do infravermelho da molécula de dióxido de carbono, exibindo a intensidade da radiação transmitida através de uma amostra do gás *versus* o comprimento de onda da radiação. Podemos verificar que existem duas linhas (também chamadas bandas de absorção), localizadas em  $4,2 \mu\text{m}$  e  $15 \mu\text{m}$ , onde a intensidade da radiação transmitida cai drasticamente. Ou seja, o gráfico mostra que quando uma dada radiação infravermelha incide sobre uma amostra do gás  $\text{CO}_2$ , os comprimentos de ondas da radiação de  $4,2 \mu\text{m}$  e  $15 \mu\text{m}$  são absorvidos pelo gás. Assim, o dióxido de carbono é opaco (não deixa passar) a radiação com comprimento de onda em torno de  $4,2 \mu\text{m}$  e  $15 \mu\text{m}$ .

Por sua vez, compreender a origem das bandas de absorção do dióxido de carbono requer olhar para a forma como o  $\text{CO}_2$  interage com a radiação – o que remete ao estudo da espectroscopia vibracional ou espectroscopia do infravermelho (Banwell, 1972, p.7). A espectroscopia vibracional trata da espectroscopia do infravermelho na faixa dos  $1 \mu\text{m}$  a  $100$

<sup>48</sup> A Figura original está disponível em <https://earthobservatory.nasa.gov/Features/EnergyBalance/>. Note que as intensidades são iguais apenas no topo da atmosfera (veja-se seção 4 sobre o balanço de energia da Terra).

<sup>49</sup> O espectro do infravermelho da molécula de  $\text{CO}_2$  medido pode ser visualizado em <http://webbook.nist.gov/cgi/cbook.cgi?ID=C124389&Type=IR-SPEC&Index=1#IR-SPEC>. Neste link você poderá selecionar o comprimento de onda em micrômetros para uma melhor visualização do espectro.

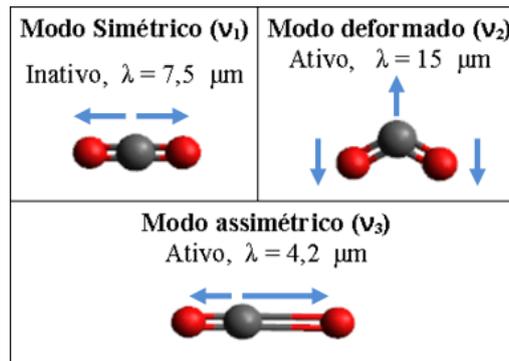
$\mu\text{m}$ . Isso significa que ao interagir com a radiação infravermelha, a molécula de dióxido de carbono pode vibrar de acordo com diferentes orientações, conhecidas como modos de vibração. Uma representação dos três modos de vibração do  $\text{CO}_2$  é apresentada na Figura 8<sup>50</sup>.



**Figura 5.7:** Representação das bandas de absorção do dióxido de carbono.

É importante notar que para que a molécula possa absorver radiação é necessário que durante a vibração seja gerado um dipolo elétrico, ou seja, uma separação das cargas positivas e negativas da molécula. Como mostra a Figura 5.8, pode-se perceber que no modo de vibração simétrico ( $\nu_1$ ) não há separação das cargas e, portanto, esse modo é inativo, ou seja, não absorve radiação. Contudo, nos modos de vibração deformado ( $\nu_2$ ) e assimétrico ( $\nu_3$ ) é gerado um dipolo elétrico, de maneira que esses dois modos são ativos e absorvem radiação (Banwell, 1972). É possível observar que são justamente esses dois modos, com comprimentos de onda de  $4,2 \mu\text{m}$  e  $15 \mu\text{m}$ , que estão representados no espectro do infravermelho do dióxido de carbono da Figura 5.7.

<sup>50</sup> Os três modos de vibração do  $\text{CO}_2$  são ilustrados na animação <http://www.chemtube3d.com/vibrationsCO2.htm>. Uma animação que simula a interação entre diferentes tipos de radiação com diferentes gases pode ser consultada em [https://phet.colorado.edu/sims/html/molecules-and-light/latest/molecules-and-light\\_pt\\_BR.html](https://phet.colorado.edu/sims/html/molecules-and-light/latest/molecules-and-light_pt_BR.html).



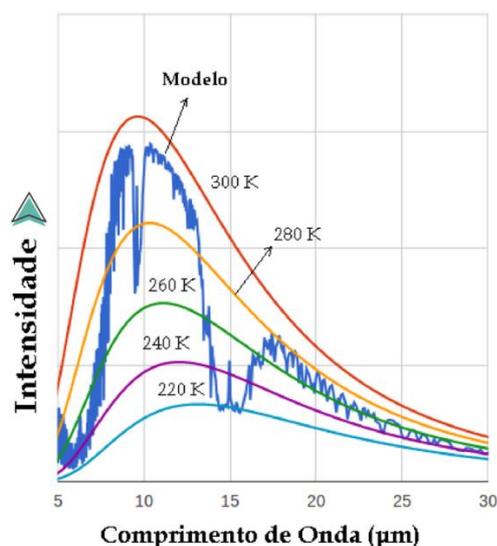
**Figura 5.8:** Modos de vibração do  $\text{CO}_2$ .

Feita essa introdução, estamos agora em condições de entender por que o  $\text{CO}_2$  é um gás de efeito estufa. Olhando para as bandas de absorção de  $4,2 \mu\text{m}$  e  $15 \mu\text{m}$  vemos que elas estão justamente na faixa de comprimentos de onda do infravermelho em que a Terra emite radiação de volta para o espaço (Figura 5.6), estando o pico de emissão da Terra em  $10 \mu\text{m}$  o que faz com que a absorção de radiação de  $15 \mu\text{m}$  seja particularmente intensa.

A Figura 5.9 simula<sup>51</sup> a emissão e absorção de radiação na atmosfera terrestre obtida a partir do modelo *Modtran* disponibilizado pela Universidade de Chicago<sup>52</sup>. Ou seja, o modelo simula a situação em que um instrumento de satélite localizado a  $70 \text{ km}$  de altitude, a partir da superfície terrestre, recebe a radiação emitida pela Terra gerando o espectro de emissão da Terra na faixa do infravermelho.

<sup>51</sup> A figura foi obtida a partir do modelo Modtran (<http://climatemodels.uchicago.edu/modtran/>) com autorização do professor David Archer da Universidade de Chicago.

<sup>52</sup> Para um comparativo entre o modelo e os dados de satélites pode-se acessar <http://climatemodels.uchicago.edu/modtran/modtran.doc.html>. Para simulação basta acessar <http://climatemodels.uchicago.edu/modtran/>.



**Figura 5.9:** Emissão e absorção de radiação na atmosfera terrestre

Vemos novamente a forte banda de absorção do  $\text{CO}_2$  localizada em  $15 \mu\text{m}$ . O fato de a banda de absorção de  $15 \mu\text{m}$  tocar a linha de  $220 \text{ K}$  de temperatura evidencia que a radiação captada pelo instrumento é proveniente das altas altitudes da atmosfera onde a temperatura é  $220 \text{ K}$  e não aquela da superfície. Em suma, fica claro a partir disso que o  $\text{CO}_2$  absorve e reemite a radiação infravermelha emitida pela superfície da Terra, sendo justamente as bandas de absorção que permitem a existência do efeito estufa<sup>53</sup>.

### 5.1.3 O balanço de energia da Terra

Passamos agora a introduzir mais um conceito que é parte do jargão técnico dos cientistas que estudam o clima da Terra, a saber, o conceito de “balanço de energia da Terra” (*earth energy budget*). O balanço de energia da Terra é o principal mecanismo que devemos considerar quando estamos interessados na questão da temperatura planetária. De fato, já vimos esse conceito, sem nomeá-lo, quando tratamos do cálculo da temperatura de equilíbrio, onde consideramos que existe um balanço entre a energia absorvida, proveniente do Sol, e a energia emitida pelo planeta de volta para o espaço. Como visto anteriormente, para que um planeta como a Terra possa manter uma temperatura média aproximadamente constante, deve

<sup>53</sup> Para uma explicação adicional sobre o papel dos gases estufa no espectro de emissão da Terra medido por satélites em órbita da Terra pode-se acessar [https://www.giss.nasa.gov/research/briefs/schmidt\\_05/](https://www.giss.nasa.gov/research/briefs/schmidt_05/).

existir um equilíbrio entre a intensidade de energia que entra ( $I_e$ ) e a intensidade de energia que sai ( $I_s$ ) no topo da atmosfera. Um desequilíbrio no balanço de energia a longo prazo tem como consequência um aumento ou um decréscimo da temperatura planetária<sup>54</sup>. A questão que se coloca é *de que maneira é possível interferir no balanço de energia da Terra?*

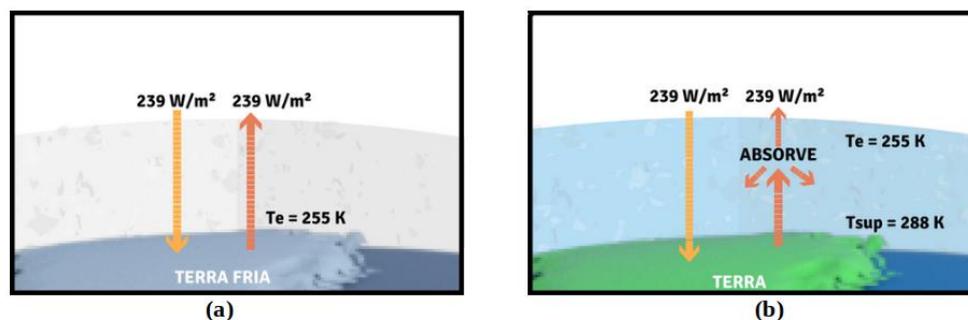
Atualmente cientistas consideram que há três maneiras fundamentais de mudar o balanço de energia da Terra (Le Treut et al., 2007, p.96): (a) mudando a radiação solar que entra na Terra; (b) mudando o albedo da Terra; (c) mudando a radiação terrestre (infravermelha) para o espaço. Vamos analisar cada uma delas. Uma mudança na radiação solar que entra na Terra (a) pode envolver mudanças na órbita da Terra, conhecidos como ciclos de Milankowitch ou, mudanças na própria intensidade radiação solar. Uma mudança no albedo da Terra (b) pode envolver mudanças na cobertura de nuvens, emissões de partículas de aerossóis (por fontes humanas e naturais como vulcões) e mudanças na cobertura do solo (desmatamento, urbanização). Finalmente, alterações na radiação terrestre (infravermelha) enviada para o espaço (c) envolve mudanças na concentração de gases de efeito estufa. Essas três maneiras de afetar o balanço de energia da Terra são fatores externos que atuam sobre o sistema climático e são conhecidas como *forçantes climáticas*<sup>55</sup>.

Como nosso interesse aqui é analisar especialmente a forçante dos gases estufa, comecemos analisando duas situações de balanço de energia. Na Figura 5.10a temos a situação hipotética de um planeta similar à Terra, mas que não contém atmosfera (ou uma atmosfera sem gases estufa) que chamaremos de Terra Fria. A segunda situação, Figura 5.10b, é a nossa Terra atual onde temos uma atmosfera com gases estufa e, desse modo, o planeta Terra com efeito estufa. Considerando que o albedo em cada caso seja o mesmo e que os planetas Terra Fria e Terra estejam à mesma distância do Sol, sabemos que a quantidade de energia solar que atinge a superfície planetária é dada pela Equação 1 (seção 5.1.1). Ou seja, a taxa de energia absorvida =  $\pi.R^2.I.(1-\alpha)$ . Contudo, como essa energia se distribui por toda área da superfície da Terra, devemos dividir essa expressão pela área de uma esfera ( $4.\pi.R^2$ ). Com isso, obtemos uma expressão para a intensidade da energia que entra ( $I_e$ ) na Terra por unidade de área, ou seja,  $I_e = I.(1-\alpha)/4$  (veja-se Equação 3 seção 5.1.1, lado esquerdo). Substituindo os valores ( $I = 1360 \text{ W/m}^2$  e  $\alpha = 0.3$ ) obtemos  $I_e = 1360.(1-0,3)/4 = 239 \text{ W/m}^2$ .

<sup>54</sup> Um corpo aquece quando recebe mais energia do que emite e esfria quando ele emite mais energia do que recebe. O mesmo raciocínio é aplicável ao planeta Terra como um todo. A emissão de energia da Terra pode ser visualizada na imagem de infravermelho obtida a partir de dados de satélite <https://www.nasa.gov/feature/goddard/2016/a-look-at-the-us-cold-snap-from-nasa-infrared-imagery>.

<sup>55</sup> Há também fatores internos que influenciam o clima como as correntes oceânicas e que podem gerar uma variabilidade interna do clima (Le Treut, et al., 2007).

Novamente, para que estejam em equilíbrio radioativo, Terra Fria e Terra devem emitir a mesma quantidade de energia de volta para o espaço. Ou seja, Terra Fria e Terra esquentam até uma temperatura de equilíbrio de 255 K para que a intensidade da energia que sai ( $I_s$ ) seja  $I_s = \sigma \cdot T_e^4 = 239 \text{ W/m}^2$  (Equação 3 seção 5.1.1, lado direito).



**Figura 5.10:** (a) Terra fria sem efeito estufa. (b) Terra com efeito estufa.

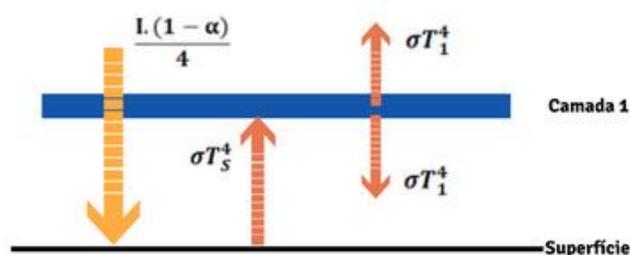
Nos dois casos há, contudo, uma diferença fundamental. Como observado anteriormente, quando um planeta possui uma atmosfera substancial (contendo gases de efeito estufa) há uma distinção importante entre a *temperatura de equilíbrio* e a *temperatura de superfície*. No planeta Terra Fria, como não há efeito estufa, a radiação infravermelha encontra caminho (óptico) livre para o espaço, de modo que a região emissora é a própria superfície do planeta. Ou seja, na hipotética Terra Fria a temperatura de equilíbrio e a temperatura de superfície são iguais e valem 255 K (-18 °C) (Figura 10a). Por sua vez, na Terra real (nosso planeta) a presença de gases estufa leva a atmosfera a absorver parte da radiação emitida pela superfície antes que ela alcance o espaço exterior, de modo que a região emissora de temperatura 255 K está localizada a uma determinada altitude média da atmosfera. Ou seja, um instrumento localizado no espaço que detecta a radiação emitida pela Terra irá medir a intensidade de  $239 \text{ W/m}^2$  como sendo proveniente não da superfície, mas dessa região emissora a uma determinada altitude da atmosfera<sup>56</sup> (Figura 5.10b).

Contudo, se a temperatura de equilíbrio da Terra está localizada nessa altitude média, o que acontece com a temperatura na superfície? Como vemos na Figura 5.10b, parte da radiação infravermelha absorvida é reemitida pela atmosfera na direção da superfície. É essa

<sup>56</sup> Na realidade a situação é mais complicada e a radiação que um instrumento capta no espaço pode vir de diferentes regiões da atmosfera com diferentes altitudes e temperaturas. Além disso, há regiões do espectro, como a janela atmosférica de  $8 \mu\text{m} - 13 \mu\text{m}$ , onde a radiação da superfície consegue escapar diretamente para o espaço. Lembremos que na Figura 9 a radiação de  $15 \mu\text{m}$  captada pelo instrumento é proveniente das altas altitudes da atmosfera onde a temperatura está próxima de 220 K. Para maiores detalhes a respeito pode-se consultar o texto disponível em <https://www.acs.org/content/acs/en/climatescience/atmosphericwarming.html>.

quantidade de radiação para baixo (*downward radiation*) que é responsável pelo aumento da temperatura da superfície<sup>57</sup>. Cientistas empregam complexos modelos de transferência radioativa-convectiva para o cálculo da temperatura de superfície de um planeta com determinada atmosfera (Goody & Walker, 1996; Taylor, 2005; Pierrehumbert, 2011).

Podemos empregar uma forma simplificada conhecida por *modelo de linha* para fazer uma estimativa da temperatura de superfície a partir da temperatura de equilíbrio do planeta. A ideia do modelo de linha consiste em dividir a atmosfera em diversas camadas de modo que cada camada tenha uma espessura óptica suficiente para absorver toda a radiação infravermelha incidente e, em seguida, essa mesma camada reemite toda a radiação infravermelha para as camadas vizinhas acima e abaixo (Goody & Walker, 1996, p.49). Esse processo de absorção e reemissão ocorre até que a radiação alcance uma região da atmosfera superior onde não há mais absorção, ou seja, a radiação encontra caminho livre para o espaço.



**Figura 5.11:** Modelo de linha de uma camada.

Aplicando o modelo de linha e fazendo mais uma simplificação, de que toda a região atmosférica (da troposfera) possa ser representada por uma única camada (Figura 5.11), podemos escrever a equação da transferência de energia nessa camada atmosférica como sendo  $\sigma T_s^4 = \sigma T_1^4 + \sigma T_1^4$ . Fazendo as simplificações obtemos para a temperatura de superfície a expressão  $T_s = \sqrt[4]{2} \cdot T_1$ . Como a camada 1 da Figura 5.11 representa a região emissora onde a radiação escapa para o espaço, podemos dizer que a temperatura  $T_1$  é igual a temperatura de equilíbrio  $T_e$ , ou seja,  $T_1 = T_e = 255 \text{ K}$ . Assim, reescrevendo a equação acima e substituindo os valores obtemos a expressão para a temperatura de superfície em função da temperatura de equilíbrio como sendo  $T_s = \sqrt[4]{2} \cdot T_e = 1,18 \cdot 255 = 303 \text{ K}$ .

<sup>57</sup> Cientistas conseguem medir essa radiação de ondas longas vinda da atmosfera em direção a superfície usando um instrumento chamado Pirgeometro. Veja-se, por exemplo, o texto “Sensoriamento remoto e radiação atmosférica” <http://www.iag.usp.br/siae98/meteorologia/radiacao.htm>.

Vemos que este modelo simplificado nos fornece uma temperatura de superfície de 303 K que é um tanto distinta da temperatura média observada de 288 K. Essa diferença se deve à grande simplificação do modelo, uma vez que seria necessário considerar um número muito maior de camadas para obter resultados mais satisfatórios (Goody & Walker, 1996; Taylor, 2005; Pierrehumbert, 2011). Além disso, a radiação não é a única forma de transferência de energia na atmosfera terrestre, especificamente na troposfera. Um modelo mais realista deve necessariamente incluir o papel da convecção o que remete aos modelos radiativo-convectivos de transferência de energia na atmosfera (Goody & Walker, 1996; Pierrehumbert, 2011). Obviamente tais modelos envolvem um elevado nível de expertise científica e são objetos de estudo de cientistas que se dedicam ao estudo do clima da Terra, além de requererem o uso do cálculo numérico computacional. Para nossos fins, na presente tese, é suficiente notar que o *modelo linha* permite fornecer uma ideia aproximada bastante boa para perceber como a radiação reemitida para baixo contribui para o aquecimento da superfície<sup>58</sup>.

#### ***5.1.4 A intensificação de efeito estufa e a ação humana***

O fenômeno do efeito estufa da Terra é um processo natural essencial para a vida no planeta. Contudo, embora seja um processo natural da Terra, o efeito estufa não é um fenômeno imutável; mudanças na composição química da atmosfera implicam em mudanças no próprio efeito estufa. *O que então esperar de um aumento na concentração de gases estufa?*

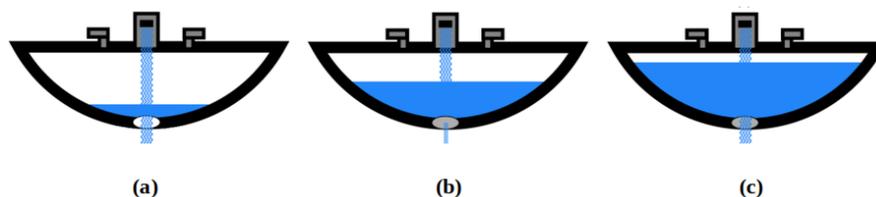
Em primeiro lugar, lembremos que no planeta Vênus as temperaturas altíssimas são o resultado de um efeito estufa intensificado pela presença de níveis elevados de dióxido de carbono. Assim, a resposta intuitiva é de que um aumento da quantidade de gases estufa na atmosfera da Terra resulte num aumento do efeito estufa e, conseqüentemente, um aumento da temperatura do planeta. *Mas como isso ocorre?*

Podemos compreender o mecanismo de intensificação do efeito estufa recorrendo ao

---

<sup>58</sup> De fato, o modelo de linha com uma única camada lembra a explicação usual do efeito estufa onde é feita uma analogia com a estufa de jardineiro em que o vidro superior deixa passar a radiação visível vinda do Sol, mas é opaco a radiação infravermelha emitida para cima pelo solo de dentro da estufa. É preciso observar que, assim como o modelo de linha é uma simplificação grosseira da atmosfera, a estufa de jardineiro também não é uma boa analogia para explicar o efeito estufa da Terra. Isso porque na atmosfera terrestre a absorção de radiação ocorre devido a presença de moléculas de gases estufa distribuídos em toda atmosfera e não em uma única camada específica (Le Treut, et al, 2007, p.115).

conceito de balanço de energia discutido na seção anterior. Faremos isso, começando com a discussão de uma analogia hidráulica, ou seja, considerando uma analogia entre o fluxo de energia no sistema terrestre e o fluxo de água em uma pia (Figura 5.12) (Niebert & Gropengiesser, 2014)<sup>59</sup>.



**Figura 5.12:** Representação do balanço entre o fluxo de entrada e saída de água numa pia.

Na Figura 5.12, o fluxo de água da torneira que entra na pia representa o fluxo de energia solar entrando no sistema terrestre. O fluxo de água saindo pelo ralo da pia representa a radiação terrestre que deixa o topo da atmosfera. O nível da água mantido constante representa a situação de equilíbrio onde o fluxo de entrada de água é igual ao fluxo de saída de água (Figura 5.12a). Imaginemos agora que o ralo da saída da pia seja obstruído parcialmente por restos de comida que caíram na pia (Figura 5.12b). Nesta situação, *o que acontece com o nível da água?* Supondo que o fluxo de água entrando na pia através da torneira seja constante, então o nível da água da pia irá subir, pois há menos água saindo do que entrando na pia. A água na pia subirá até um novo nível de equilíbrio em que a pressão sobre o ralo irá aumentar a vazão de modo a reequilibrar o fluxo de entrada (Figura 5.12c).

A situação hipotética descrita acima é uma boa analogia com o que acontece na atmosfera terrestre. Aumentando a concentração de gases estufa iremos aumentar a capacidade da atmosfera em absorver radiação infravermelha, especialmente, nas regiões mais altas da atmosfera. Assim, o aumento da concentração dos gases estufa (representados pela sujeira do ralo), dificulta a saída de radiação no topo da atmosfera e, desse modo, produz um desequilíbrio entre o fluxo de entrada e saída de radiação. Para que a Terra consiga emitir novamente a mesma quantidade de energia ela precisa aquecer, pois a intensidade (fluxo de energia por unidade de área e de tempo) é proporcional à temperatura na quarta potência ( $I_s =$

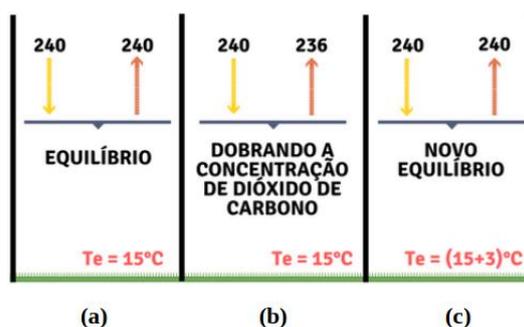
---

<sup>59</sup> Lembrando que a forma usual de discutir o “efeito estufa” é fazendo uso da analogia com a estufa de jardineiro. Um problema adicional com esta analogia é o de que nas estufas de jardineiro o aquecimento não ocorre essencialmente devido a radiação, mas principalmente porque, estando fechada, ela inibe a convecção. Ou seja, o ar interior da estufa fica confinado e não se mistura com o ar frio exterior. Isso é distinto do que ocorre na atmosfera, onde a radiação desempenha papel essencial para a existência do “efeito estufa” (ou efeito estufa atmosférico) (Le Treut, et al, 2007, p.115; Niebert & Gropengiesser, 2014, p.286).

$\sigma.T_e^4$ ). Ou seja, a Terra irá aquecer até uma temperatura que permita reestabelecer o equilíbrio entre a entrada e saída de energia no topo da atmosfera. Assim, a nova temperatura de superfície será maior, de modo análogo ao novo nível de água da pia.

É interessante notar que um erro conceitual comum é considerar que um aumento da temperatura do planeta seja devido a uma maior entrada de radiação. Contudo, como visto nas explicações anteriores, o que ocorre é que um aumento do efeito estufa leva o planeta Terra para um novo *estado de equilíbrio*. Ou seja, se dificultarmos a saída de energia aumentando o efeito estufa, a Terra precisa esquentar de modo a reequilibrar o fluxo de saída de energia. Em suma, a explicação científica faz uso do conceito de *equilíbrio dinâmico* em que o aquecimento global é uma resposta do sistema terrestre para reestabelecer o seu balanço de energia próximo ao topo da atmosfera (Pierrehumbert, 2011, p.37; Niebert & Gropengiesser, 2014, p.283).

Podemos verificar isso analisando a Figura 5.13. A Figura 5.13a ilustra a situação de equilíbrio sem a intensificação do efeito estufa, temperatura de superfície de 15°C e equilíbrio entre os 240 W/m<sup>2</sup> de entrada<sup>60</sup> e 240 W/m<sup>2</sup> de saída. Por sua vez, na Figura 5.13b temos o efeito estufa intensificado (duplicando a concentração de CO<sub>2</sub>), gerando um desequilíbrio com uma entrada 240 W/m<sup>2</sup> e saída de apenas 236 W/m<sup>2</sup>. Para que a Terra possa reestabelecer o equilíbrio ela precisa aquecer até uma nova temperatura apontada na Figura 5.13c como sendo 18°C (Houghton, 2009).



**Figura 5.13:** Balanço de energia da Terra. (a) em equilíbrio, (b) efeito estufa intensificado e fora do equilíbrio, (d) novo equilíbrio.

O valor de 3° C de aumento é um valor intermediário na medida em que até o momento as melhores estimativas científicas sobre o aumento da temperatura do planeta, em

<sup>60</sup> Para facilitar a visualização usamos o valor de 240 W/m<sup>2</sup> e não os 239 W/m<sup>2</sup> que discutimos anteriormente. Veja-se também Houghton (2009).

face de duplicarmos as concentrações de CO<sub>2</sub>, giram entre 1,5 ° C a 4,5 ° C (IPCC, 2013, p.16). As complexidades do sistema climático e dos mecanismos de retroalimentação não possibilitam afirmações precisas e categóricas sobre o aumento da temperatura do planeta. Contudo, o conhecimento científico atual permite aos cientistas fazerem estimativas sobre quais cenários de aquecimento são ao menos mais prováveis de ocorrer no futuro. Em suma, cientistas podem nos dizer com boa segurança que a intensificação do efeito estufa conduzirá ao aquecimento do planeta. Contudo, existem ainda consideráveis incertezas sobre quanto e com que rapidez ocorrerá esse aquecimento.

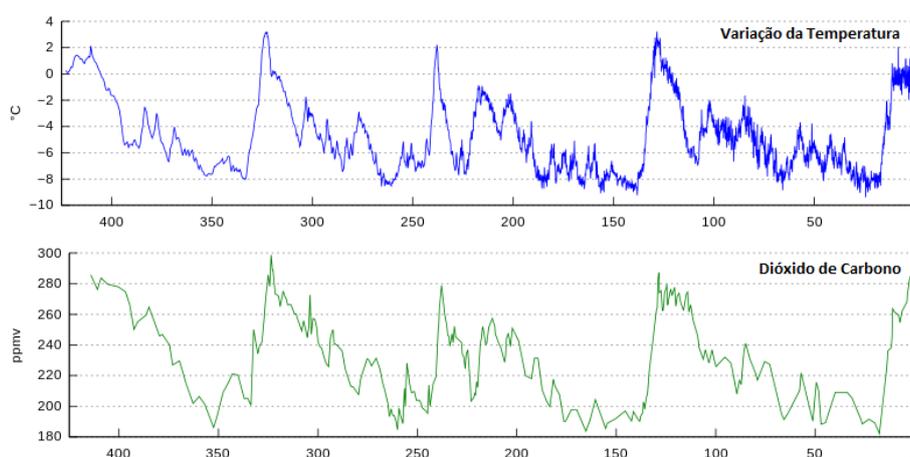
### ***5.1.5 O papel do CO<sub>2</sub> no aquecimento global***

Para poder apreciar o papel do CO<sub>2</sub> junto a questão do aquecimento global começamos considerando a contribuição do CO<sub>2</sub> e outros agentes para o efeito estufa natural da Terra. Usando dados de satélites cientistas da NASA quantificaram essa contribuição (Lacis, et al., 2010). Em números arredondados o vapor d'água é responsável por 50% do efeito estufa da Terra, as nuvens contribuem com 25%, o CO<sub>2</sub> com 20% e os demais gases estufa com 5% (Ibid., p.357). Diante disso, poderíamos então nos perguntar *por que se preocupar com o CO<sub>2</sub>*? Não deveríamos nos preocupar mais com o vapor d'água, uma vez que este é o gás de efeito estufa que mais contribui para o efeito estufa da Terra?

Para responder essa questão é preciso atentar para algumas diferenças importantes entre o CO<sub>2</sub> e o vapor d'água. Em primeiro lugar, o CO<sub>2</sub> é um gás estufa não condensável, podendo permanecer um longo período de tempo, centenas de anos, na atmosfera. Em segundo lugar, evidências provenientes de testemunhos de gelo (cilindros de gelo obtidos através da perfuração dos mantos de gelo) da Antártica e da Groenlândia têm revelado que o CO<sub>2</sub> está diretamente correlacionado com as idas e vindas das eras do gelo do passado. Os resultados obtidos em 1999 por um grupo de cientistas na estação Vostok da Antártica<sup>61</sup> é mostrado no Gráfico 5.1.

---

<sup>61</sup> A este respeito é interessante consultar o texto de Weart <https://history.aip.org/climate/cycles.htm>.



**Gráfico 5.1:** Dados de temperatura e dióxido de carbono reconstruídos a partir de cilindros de gelo da estação Vostok (Atártica).

Como podemos ver no Gráfico 5.1, os dados dos testemunhos de gelo<sup>62</sup> permitiram voltar 400 mil anos no tempo cobrindo quatro eras glaciais. Podemos ver assim que há uma forte correlação entre os níveis de CO<sub>2</sub> e a temperatura. Um nível de CO<sub>2</sub> alto está acompanhado de uma temperatura alta (período interglacial); por sua vez, um nível de CO<sub>2</sub> baixo, está acompanhado de uma temperatura baixa (período glacial, idade do gelo). Estes resultados são evidências de que o CO<sub>2</sub> é parte da história climática da Terra. É também interessante observar que em todo este período os níveis mais altos de CO<sub>2</sub> nunca ultrapassaram os 300 ppm, um valor consideravelmente menor do que os atuais 400 ppm<sup>63</sup> resultantes das emissões humanas (pós revolução industrial) de CO<sub>2</sub> (Gráfico 5.2).

Diferente do CO<sub>2</sub>, o vapor d'água é um gás estufa condensável, assim a sua quantidade na atmosfera é regulada pela temperatura e não o contrário. Ou seja, para uma determinada temperatura e pressão atmosférica, existe uma quantidade máxima de vapor d'água comportado pela atmosfera e qualquer quantidade adicional de vapor d'água colocado na atmosfera irá condensar, podendo levar à formação de nuvens e da chuva. Isso significa que o vapor d'água não pode iniciar um processo de aquecimento como numa saída de uma idade do gelo. Apenas um gás não condensável como o CO<sub>2</sub> e outros gases estufa, não condensáveis, ou alguma outra forçante climática como o Sol e os ciclos de Milankowitch, podem fazê-lo. O papel importante do vapor d'água é funcionar como um mecanismo de retroalimentação, pois uma vez iniciado um aquecimento causado por uma outra forçante

<sup>62</sup> Adaptado de [https://en.wikipedia.org/wiki/Ice\\_core#/media/File:Vostok\\_Petit\\_data.svg](https://en.wikipedia.org/wiki/Ice_core#/media/File:Vostok_Petit_data.svg).

<sup>63</sup> Veja <https://climate.nasa.gov/vital-signs/carbon-dioxide/>.

externa, como o CO<sub>2</sub>, o vapor d'água entra em ação ampliando o efeito do aquecimento<sup>64</sup>.

Assim, por exemplo, um pequeno aumento da temperatura, causado por um aumento da concentração de CO<sub>2</sub>, faz com que a atmosfera comporte uma maior quantidade de vapor d'água que, por sua vez, intensifica o efeito estufa aumentando ainda mais a temperatura. Um processo inverso de resfriamento ocorreria com a retirada de CO<sub>2</sub> da atmosfera. É interessante observar, como discutido por Lacis, et al. (2010, p.357), que uma remoção de todo o CO<sub>2</sub> da atmosfera terrestre levaria ao colapso do efeito estufa da Terra, pois induziria um processo em cascata de resfriamento, junto com o mecanismo de retroalimentação de vapor d'água. O resultado final seria o congelante cenário da Terra Fria discutido na seção 4 com temperaturas em torno de -18 °C.

Essas considerações nos dão uma dimensão da importância do CO<sub>2</sub> na regulação da temperatura do planeta Terra. Como descrito por Lacis, et al. (2010) o CO<sub>2</sub> é o principal botão de controle do “termostato” terrestre.

Atualmente é amplamente reconhecido pela comunidade científica que a humanidade, a partir da revolução industrial, modificou de forma expressiva a composição química da atmosfera, especialmente a concentração de gases de efeito estufa. Tais alterações são o resultado de processos como a queima de combustíveis fósseis (petróleo, carvão), desmatamento e uso da terra através da agricultura e pastagens. A Tabela 5.3 apresenta as concentrações naturais e as alterações antropogênicas (isto é, devidas à ação humana) promovidas a partir da revolução industrial, dos principais gases de efeito estufa como o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), clorofluorcarbonetos (CFCs) e halocarbonetos hidrogenados (HFC e HCFC) e ozônio (O<sub>3</sub>) que na troposfera funciona como gás estufa<sup>65</sup>.

---

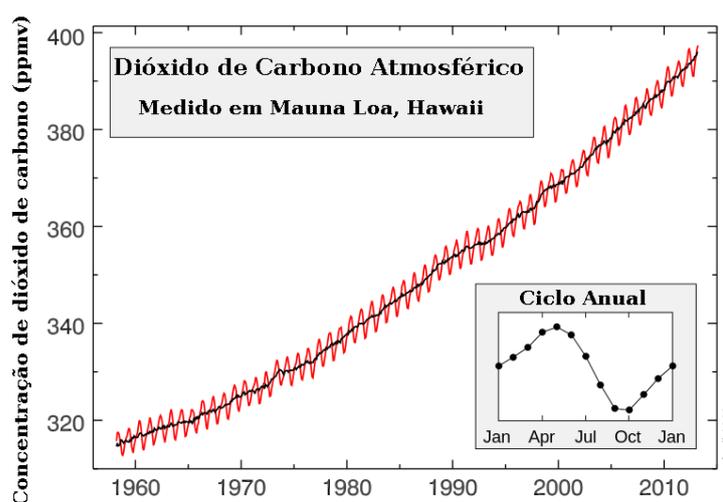
<sup>64</sup> É por essa razão que os cientistas se referem ao vapor d'água como sendo um mecanismo de retroalimentação e não uma forçante climática. Para mais detalhes sobre o papel do vapor d'água no sistema climático veja-se [https://www.acs.org/content/acs/en/climatescience/climatesciencenarratives/its-water-vapor-not-the-co2.html?\\_ga=2.163457020.1306840780.1518524275-504276964.1518524275](https://www.acs.org/content/acs/en/climatescience/climatesciencenarratives/its-water-vapor-not-the-co2.html?_ga=2.163457020.1306840780.1518524275-504276964.1518524275); <https://www.skepticalscience.com/water-vapor-greenhouse-gas.htm>.

<sup>65</sup> Notemos que um importante gás de efeito estufa que não aparece na tabela abaixo é o vapor d'água. Contudo, o vapor d'água é o gás condensável e sua presença na atmosfera é função da temperatura que determina a umidade do ar de determinado local. Por sua vez, os gases da Tabela 3 são gases estufa não condensáveis, assim, diferente do vapor d'água podem permanecer por longos períodos de tempo na atmosfera.

**Tabela 5.3:** Mudanças antropogênicas na composição de gases estufa. Adaptado de Barry e Chorley (2013).

<b>Mudanças antropogênicas na concentração de gases traço atmosféricos</b>		
<b>Gás</b>	<b>Concentração 1850</b>	<b>Concentração 2008</b>
Dióxido de carbono	280 ppm	385 ppm
Metano	800 ppbv	1775 ppbv
Óxido Nitroso	280 ppbv	320 ppbv
CFC-11	0	0,27 ppbv
HCFC-22	0	0,11 ppbv
Ozônio troposfera	?	10 – 50 ppbv

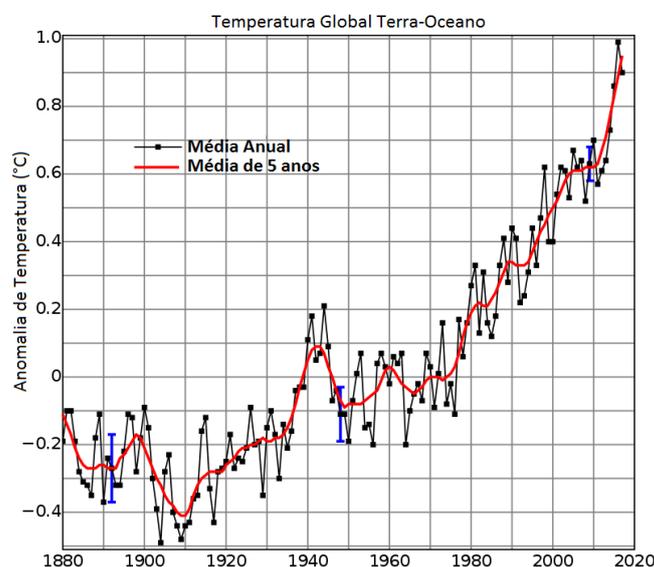
De modo especial, no que concerne à concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera, pode-se fazer referência à famosa curva de carbono de Keeling que evidencia os aumentos da concentração de CO<sub>2</sub> a partir da segunda metade do século XX (Gráfico 5.2)<sup>66</sup>. Tais medidas iniciaram com o trabalho de Charles David Keeling, em 1957, em dois locais distintos, na Antártica (polo Sul) e no observatório do monte Mauna Loa, Havaí. O resultado das medições de Keeling é atualmente amplamente reconhecido pela comunidade científica e representam um marco na pesquisa sobre o papel do dióxido de carbono no clima do planeta.



**Gráfico 5.2:** Medidas da concentração de dióxido de carbono na atmosfera feitas no observatório Mauna Loa, Havaí

<sup>66</sup> Adaptado de [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mauna\\_Loa\\_Carbon\\_Dioxide\\_Apr2013.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mauna_Loa_Carbon_Dioxide_Apr2013.svg).

Como já discutido, historicamente, a compreensão da base física do efeito estufa, a teoria da transferência de energia na atmosfera, foi consolidada durante as décadas de 1950 a 1970 (Fleming, 1998; Weart, 2008 e seção 5.2). Já nesse período diversos cientistas alertavam para os riscos de um aumento da concentração de CO<sub>2</sub>, prevendo inclusive o aquecimento futuro do planeta se as emissões de CO<sub>2</sub> continuassem (Peterson, Connolley & Fleck, 2008). A partir da segunda metade do século XX dados de estações meteorológicas e dados de satélites têm indicado que, de fato, está ocorrendo um aumento da temperatura média global, registrando um aumento de quase 1° C desde o período pré-industrial<sup>67</sup>. Esse resultado é conhecido por aquecimento global e é apresentado no Gráfico 5.3<sup>68</sup>.



**Gráfico 5.3:** Variação da temperatura média global (1880 - 2013).

O IPCC (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas) criado em 1988 sob o comando da Organização Meteorológica Mundial (WMO) em seus relatórios tem atestado com níveis de confiança cada vez maiores que as evidências científicas são suficientemente fortes para afirmar que o aquecimento observado tem como causa dominante as emissões antropogênicas de gases estufa (IPCC, 2013). Para poder atribuir de forma inequívoca à ação do homem no aquecimento do clima, cientistas tomaram em consideração a ação de outros

<sup>67</sup> Veja <https://climate.nasa.gov/vital-signs/global-temperature/>.

<sup>68</sup> Gráfico adaptado de [https://pt.wikipedia.org/wiki/Aquecimento\\_global#/media/File:Global\\_Temperature\\_Anomaly.svg](https://pt.wikipedia.org/wiki/Aquecimento_global#/media/File:Global_Temperature_Anomaly.svg).

fatores naturais como a influência do Sol, os vulcões e os ciclos orbitais de Milankowitch. Como visto anteriormente, todos estes fatores podem atuar como forçantes climáticas afetando o clima do planeta. Contudo, a evidência científica tem apontado que os fatores naturais não são capazes de explicar o aumento da temperatura registrado nas últimas quatro (4) décadas<sup>69</sup>, deixando claro que as emissões antropogênicas são a principal causa do aquecimento global observado.

## 5.2 Um breve histórico da ciência do aquecimento global

Passemos agora a considerar alguns eventos e personagens históricos que contribuíram para o desenvolvimento da ciência do aquecimento global. Este estudo sobre orientou-se principalmente a partir dos trabalhos de historiadores da ciência como o físico Spencer Weart do *American Institute of Physics* e do 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,).

As origens mais recentes da discussão sobre a agência humana no clima remontam aos trabalhos do matemático e cientista francês Jean Babtiste Joseph Fourier (1768 – 1830). Como já comentado, 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 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. Repetimos aqui trecho do que ele escreveu, por sua importância histórica: [...]“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).

Embora Fourier especulasse acertadamente que a atmosfera desempenhasse um

---

<sup>69</sup> Para uma apresentação bastante didática e sucinta (em espanhol) das principais linhas de evidência sobre o aquecimento global em curso pode-se consultar o texto <http://nas-sites.org/americanclimatechoices/more-resources-on-climate-change/climate-change-lines-of-evidence-booklet/cambio-climatico-evidencia-impactos-y-opciones/>, bem como o vídeo (em inglês) <http://nas-sites.org/americanclimatechoices/videos-multimedia/climate-change-lines-of-evidence-videos/>.

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. Como já explicado, foi o engenheiro inglês John Tyndall que, em 1859, iniciou uma série de experimentos sobre as propriedades radioativas de diversos gases com uso do espectrofotômetro, concluindo que gases como o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e o vapor d'água ( $\text{H}_2\text{O}$ ) 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)<sup>70</sup>. 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 época<sup>71</sup>.

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  $\text{CO}_2$  e o vapor d'água absorvem radiação infravermelha nas mesmas regiões espectrais, ou seja, toda radiação que o  $\text{CO}_2$  absorveria já seria absorvida pelo vapor d'água (Fleming, 1998). Outros cientistas argumentavam que o  $\text{CO}_2$  presente na atmosfera já exerceria a sua plena capacidade de absorção de radiação, de modo que um acréscimo de  $\text{CO}_2$  não aumentaria o efeito estufa. Finalmente, outros objetavam que o  $\text{CO}_2$

---

<sup>70</sup> Assim, por exemplo, supondo que a concentração de  $\text{CO}_2$  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  $\text{CO}_2$  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).

<sup>71</sup> Na época, tanto Arrhenius quanto Tyndall consideravam que as principais fontes de emissões de  $\text{CO}_2$  eram os vulcões. Sobre as consequências de possíveis aumentos da concentração  $\text{CO}_2$  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 idade do gelo (Fleming, 1998, p.82).

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 CO<sub>2</sub> das mudanças climáticas [...]“nunca foi amplamente aceita e foi abandonada quando foi descoberto que toda radiação de ondas longas absorvida pelo CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> na atmosfera, propriedades espectroscópicas do CO<sub>2</sub> e estimativas da temperatura global com base em dados de estações meteorológicas da época (Fleming, 1998). Nos artigos de 1938 e 1939, Callendar argumentava que a queima de combustíveis fósseis teria provocado um aumento de 6% de CO<sub>2</sub> na atmosfera entre 1900 e 1936, e que este aumento de CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> que demonstravam que as bandas de absorção do CO<sub>2</sub> não coincidem com as do vapor d’água. Ou seja, a objeção de Knut Angström não seria um argumento decisivo contra a teoria<sup>72</sup>.

Contudo, Callendar e Arrhenius não consideravam 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 idade 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

---

<sup>72</sup> 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 CO<sub>2</sub> no clima.

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 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 CO<sub>2</sub> 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, pôde 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 CO<sub>2</sub>, como a objeção de que o CO<sub>2</sub> absorveria nas mesmas regiões do vapor d'água e a de que CO<sub>2</sub> 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 se sustentavam.

Sobre a questão das emissões humanas de CO<sub>2</sub>, Plass (1956) estimou que tais emissões levariam a um aumento de 30% na concentração de CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> e a temperatura realmente continuaram a subir (veja seção 5.1.5 os Gráficos 2 e 3)<sup>73</sup>. Contudo, na época ainda era matéria de especulação se a concentração de CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> seria absorvido pelos oceanos, uma vez que os

---

<sup>73</sup> Veja também <https://climate.nasa.gov/>.

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 CO<sub>2</sub>, a química das águas superficiais dos oceanos implicava também que parte do CO<sub>2</sub> absorvido acabava reevaporando<sup>74</sup>, de modo que os oceanos possuíam um limite na capacidade de absorção do CO<sub>2</sub> (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:

[...] os 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 CO<sub>2</sub>. É nesse momento que o trabalho de Charles David Keeling, de medida da concentração de CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> estava subindo (Weart, 2008). O resultado das medições de Keeling, que deu origem à famosa

---

<sup>74</sup> 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 do CO<sub>2</sub> fóssil emitido pelas atividades humanas <https://history.aip.org/climate/co2.htm#S2>.

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 planeta (veja seção 5.1.5, Gráfico 2). Os resultados das medidas feitas por Keeling finalmente refutaram o argumento de que qualquer excesso de emissões de CO<sub>2</sub> 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 (ou consenso científico), estes estavam divididos sobre qual seria a melhor teoria e quais os fatores (ciclo solar, ciclos orbitais, vulcões, aerossóis e CO<sub>2</sub>) seriam mais importantes na regulação do clima do planeta<sup>75</sup>.

Para agravar o debate, em 1963 o respeitado climatologista Murray Mitchell publicou uma análise estatística da temperatura global, baseado em dados da *World Weather Records*, indicando que desde 1940 estava em curso uma tendência de resfriamento do planeta (Weart, 2008)<sup>76</sup>. Alguns cientistas começaram a argumentar que tais dados contradiziam nitidamente às 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 idade 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 CO<sub>2</sub>. De fato, mais tarde, em face do surgimento de novas evidências e argumentos, cientistas como Stephen Schneider

---

<sup>75</sup> “Carbon dioxide: key to climate change (1960-1970)” <https://history.aip.org/climate/co2.htm#SP>.

<sup>76</sup> Sobre a *World Weather Records* [http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/wcdmp/GCDS\\_2.php](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>.

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 CO<sub>2</sub> superar as forçantes de resfriamento naturais (como os vulcões e os ciclos de Milankovitch) e a forçante dos aerossóis antropogênicos (Petersom, Connolley, & Fleck, 2008).

O crescente reconhecimento da plausibilidade da teoria do CO<sub>2</sub> ficou 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).

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)<sup>77</sup>. 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 CO<sub>2</sub> na história climática (Weart, 2008). Em 1987,

---

<sup>77</sup> “Warming Resumed (1975 – 1987)” <https://history.aip.org/climate/20ctrend.htm>.

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 CO<sub>2</sub> e a temperatura, ou seja, quando o CO<sub>2</sub> estava alto a temperatura também estava alta e vice versa<sup>78</sup>. Doze anos mais tarde, em 1999, as perfurações feitas em Vostok permitiram aos cientistas voltarem 400 mil anos no tempo, cobrindo quatro eras glaciais (veja o Gráfico 1 da seção 5.1.5), evidenciando que o CO<sub>2</sub> faz parte da história climática da Terra (Weart, 2008).

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 CO<sub>2</sub>. *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 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*)<sup>79</sup>.

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

---

<sup>78</sup> Veja <https://history.aip.org/climate/xVostokco2.htm>.

<sup>79</sup> 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/>.

Research Program (WCRP)<sup>80</sup>. 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 Áustria, 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 estufa<sup>81</sup> (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 setores<sup>82</sup>. 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 tema<sup>83</sup>.

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 houve uma posição mais afirmativa sobre a influência humana no clima<sup>84</sup>: “Existe nova e mais forte evidência de que a maior parte do

---

<sup>80</sup> Veja [http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/index\\_en.html](http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/index_en.html) e *World Climate Research Program* <https://www.wcrp-climate.org/>. Outro program lançado nesse período, mais especificamente em 1983, é o *International Geosphere-Biosphere Program (IGBP)* <http://www.igbp.net/>.

<sup>81</sup> "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>.

<sup>82</sup> 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).

<sup>83</sup> 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>.

<sup>84</sup> No segundo relatório de 1995, os autores limitaram apenas a conclusão à “o balanço da evidência sugere uma

aquecimento observado ao longo dos últimos 50 anos seja atribuível às atividades humanas” (IPCC, 2001, p. 10)<sup>85</sup>. De acordo com o relatório, o aquecimento observado a partir da segunda metade do século XX não poderia ser explicado pelas forçantes naturais como a variação na radiação solar e as emissões vulcânicas<sup>86</sup>.

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 forçante radioativa positiva, do aquecimento observado, e da compreensão do sistema climático” (IPCC, 2013, p. 15).

### 5.3 Aquecimento global: um tema polêmico

Um tratamento adequado da temática do aquecimento global requer 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 sobre o tema, 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.

A duas primeiras questões são questões internas das ciências naturais, ou seja, são as especialidades científicas que têm a competência para respondê-las (Kitcher, 2010). A questão 1, entendida como uma pergunta sobre a causa predominante do aquecimento global (se natural ou antropogênico), possui um amplo consenso científico estabelecido em torno da

---

discernível influência humana no clima global” (IPCC, 1996, p.4).

<sup>85</sup> 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.

<sup>86</sup> 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 CO<sub>2</sub> 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>.

causa antropogênica do aquecimento global, como aqui discutimos. Por outro lado, a questão 2, que envolve a previsão do clima a longo prazo, envolve maiores 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 prazo<sup>87</sup>. Finalmente, a questão 3 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 um debate muito mais amplo, que transcende o âmbito puramente científico, e cuja solução requer um diálogo 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<sup>88</sup>.

### ***5.3.1 O consenso científico sobre as causas do aquecimento global***

Atendo-nos à questão 1, ou seja, sobre a existência do aquecimento global antropogênico, temos boa evidência histórica que remonta a mais de um século de pesquisas, com inúmeros cientistas de distintas áreas, indicando uma resposta positiva a esta questão. De fato, como visto anteriormente a base física do aquecimento global antropogênico é fruto de um longo debate na comunidade científica. Contudo, o seu desenvolvimento envolveu 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.

Assim, 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 CO<sub>2</sub> adicionado à atmosfera.

---

<sup>87</sup> 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>.

<sup>88</sup> 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.

Contudo, na medida em que as pesquisas avançaram, com dados espectroscópicos mais precisos, trabalhos sobre a interação oceano-atmosfera e medidas da concentração de CO<sub>2</sub> 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 uma clara 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 de 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 CO<sub>2</sub> 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/m<sup>2</sup> (Lockwood, 2010)<sup>89</sup>. O bem conhecido ciclo solar de 11 em 11 anos, equivale a uma pequena variação de cerca de 1,37 W/m<sup>2</sup> entre um máximo e um mínimo solar. Como discutido por Lockwood (2010), esse valor de 1,37 w/m<sup>2</sup> corresponde a uma forçante radiativa na Terra de apenas 0,24 W/m<sup>2</sup>, o que corresponde apenas a 5% do valor necessário (cerca de 5 W/m<sup>2</sup>) 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 1980<sup>90</sup>. 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,

---

<sup>89</sup> Veja <https://www.giss.nasa.gov/research/news/20120130b/>.

<sup>90</sup> “Changing sun, changing climate? Em especial a seção “The sun vs. Greenhouse gases (2000s)” <https://history.aip.org/climate/solar.htm#S5>.

refletem a luz solar incidente<sup>91</sup>. 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)<sup>92</sup>.

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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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 nosso planeta. 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, com base na Física e na Química do efeito estufa, esse aumento da concentração de gases estufa, como o CO<sub>2</sub>, resulte em algum aquecimento do

---

<sup>91</sup> “Aerosols: volcanoes, dust, clouds and climate” e, em especial, a seção “Calculating aerosol effects (1990s-)” <https://history.aip.org/climate/aerosol.htm>.

<sup>92</sup> 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/>.

planeta<sup>93</sup>.

Contudo, como assinalado anteriormente, foi somente no terceiro relatório do IPCC (2001) que a comunidade científica passou a considerar que a evidência era 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 respeito<sup>94</sup>. 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*<sup>95</sup>) confirmando as conclusões do IPCC. Ao mesmo tempo, uniões científicas membros da ICSU como a União Internacional de Geodésia e Geofísica<sup>96</sup>, a *American Geophysical Union*<sup>97</sup> e associações científicas como a *American Association for the*

---

<sup>93</sup> 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/climatescience.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/americasclimatechoices/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.

<sup>94</sup> 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/>.

<sup>95</sup> 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>.

<sup>96</sup> 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](http://iugg.org/resolutions/IUGGstatement_ParisAgreement_USA_12Jun2017.pdf).

<sup>97</sup> Veja <https://news.agu.org/press-release/american-geophysical-union-releases-revised-position-statement-on-climate-change/>.

*Advancement of Science*<sup>98</sup> (2006), *American Physical Society*<sup>99</sup>, a *American Chemical Society*<sup>100</sup>, 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 posição<sup>101</sup>.

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, 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).

### **5.3.2 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

---

<sup>98</sup> 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](https://www.aaas.org/sites/default/files/migrate/uploads/aaas_climate_statement1.pdf).

<sup>99</sup> Veja [http://www.aps.org/policy/statements/07\\_1.cfm](http://www.aps.org/policy/statements/07_1.cfm).

<sup>100</sup>

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

<sup>101</sup> 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](http://www.jma.go.jp/jma/en/NMHS/indexe_ccmr.html) e Climate Research Unit <http://www.cru.uea.ac.uk/>.

consenso científico a respeito dessa matéria<sup>102</sup>. 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)<sup>103</sup>. Ao mesmo tempo, ainda é comum entre boa parte da sociedade uma visão de ciência como sinônimo de conhecimento provado, certo e infalível e resultante da aplicação de um método científico universal. 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 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 antropogênico<sup>104</sup>.

---

<sup>102</sup> No contexto americano, cerca de 50% do público não acredita em aquecimento global antropogênico (Leiserowitz, 2010).

<sup>103</sup> Um erro conceitual comum entre o público leigo é não 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).

<sup>104</sup> 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

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 cientistas<sup>105</sup>.

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 discussão do referencial teórico sobre a conceituação de uma 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 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

---

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.

<sup>105</sup> 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.

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 e aceito pela comunidade científica, 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 CO<sub>2</sub> não é um gás estufa<sup>106</sup>.

*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 passado<sup>107</sup>.

Por fim, deve-se considerar que cientistas individuais também possuem agendas e interesses que não devemos subestimar, especialmente no contexto da temática do aquecimento global. A literatura proveniente de historiadores, sociólogos e jornalistas demonstra 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 &

---

<sup>106</sup> Para uma lista completa desses argumentos cético pode-se consultar o site <https://www.skepticalscience.com/>. Veja-se, também, o Apêndice J.

<sup>107</sup> 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).

Conway 2010)<sup>108</sup>.

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).

Conforme Ceccarelli (2011), 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 tema<sup>109</sup>. 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 científico<sup>110</sup>.

---

<sup>108</sup> 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.

<sup>109</sup> Além disso, tal estratégia explora uma visão epistemologicamente equivocada comum entre o público leigo, 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.

<sup>110</sup> Onde podemos ler: “Vocês precisam assinalar a falta de certeza científica como uma questão primária no

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) 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).

Assim, usando da mesma estratégia, a indústria dos combustíveis fósseis e outros setores com interesse na questão passaram a financiar 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

---

debate [...]você precisam ser ainda mais ativos no recrutamento de especialistas que sejam simpáticos a sua visão” (Luntz, 2002, p.137-138).

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 câncer<sup>111</sup> (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 área<sup>112</sup>.

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

---

<sup>111</sup> 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).

<sup>112</sup> 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/>.

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.

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 ciência<sup>113</sup>.

De fato, neste contexto a própria palavra “cético” deixa de ser a palavra apropriada. De uma perspectiva filosófica, ser cético significa cultivar uma atitude de pesquisa e mente aberta perante o mundo, não aderindo a verdades parciais<sup>114</sup>. Negar fatos físicos básicos sem apresentar evidências legítimas para tal alegação, negar a realidade do efeito estufa ou que o CO<sub>2</sub> é um importante gás de efeito estufa, negar que a temperatura esteja subindo ou que um aumento da concentração de CO<sub>2</sub> 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)<sup>115</sup>.

---

<sup>113</sup> 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 competitiva. 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.

<sup>114</sup> 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/>.

<sup>115</sup> 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*

Aqui, vale lembrar que 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 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

---

*Earth* (<http://berkeleyearth.org/>), para avaliar a evidência de forma exaustiva, Muller e seu grupo se convenceram da realidade do aquecimento global antropogênico.

nossas vidas”(p. 227).

## 6. ESTUDO 2: ESTUDO EMPÍRICO – PESQUISA DE OPINIÃO, CONCEPÇÕES E ENTENDIMENTOS SOBRE AQUECIMENTO GLOBAL

O segundo estudo realizado no âmbito desta tese envolveu a aplicação de um questionário de opinião, concepções e entendimentos sobre a temática do aquecimento global junto a alunos e professores, especialmente, da área de Física. Este estudo tem por objetivo averiguar a compreensão de uma amostra desse segmento – alunos e professores de Física – sobre temas como o efeito estufa, o aquecimento global e/ou mudanças climáticas, bem como, as suas concepções sobre a natureza da ciência do clima e a natureza da ciência de um modo geral. Neste sentido, este estudo esteve norteado pela seguinte questão de pesquisa: *quais as opiniões, concepções e entendimentos de licenciandos(as) e licenciados(as) em Física sobre temas como efeito estufa, aquecimento global e/ou mudanças climáticas?*

Para tanto, esta etapa da pesquisa envolveu a construção, aplicação e validação de um instrumento de coleta de dados (questionário), bem como a análise dos dados coletados visando avaliar concepções e entendimentos sobre aquecimento global.

### 6.1 Apresentação do questionário: construção e validação de conteúdo

O primeiro passo desta etapa da pesquisa envolveu o processo de construção e a validação de conteúdo de um questionário. Um questionário possui validade de conteúdo se os itens que o compõem são, do ponto de vista teórico, indicadores da variável a ser medida, a saber, o construto (Silveira, 1993). Lembremos que o processo de validação de um questionário envolve as etapas de validade de conteúdo; validade de construto e validade de critério (Pasquali, 2013; Silveira, 1993). Nesta seção nos dedicamos à validade de conteúdo do questionário, na seção 6.3 abordaremos a validade de construto dos itens Q4 a Q11 do questionário<sup>116</sup>.

Para a escolha e construção dos itens do questionário, tomamos por base trabalhos da literatura que realizaram levantamentos de concepções sobre efeito estufa e aquecimento global (Arslan, Cigdemoglu & Moseley, 2012; Ratinen, 2013; Niebert & Gropengiesser, 2014; Reinfried & Tempelman, 2014; Leiserowitz, 2010), bem como livros acadêmicos que discutem a ciência básica envolvida na explicação de fenômenos como efeito estufa e

---

<sup>116</sup> Não foi feita a validade em relação a critério nesta pesquisa. Lembrando que a validade de critério requer a comparação do teste a ser validado com um outro teste existente (critério) que já foi validado, ou seja, que constitui um instrumento válido para medir o construto em questão.

aquecimento global e que formaram a base das asserções de conhecimento consideradas na elaboração do questionário (Goody & Walker, 1996; Taylor, 2005; Christopherson, 2012; Barry & Chorley, 2013; Miller, & Spoolman, 2015).

A versão final do questionário aplicado, intitulado *Pesquisa de Opinião sobre Temas Ambientais*, é apresentada no Apêndice A. No Apêndice B, também apresentamos as asserções de conhecimento utilizadas para sua elaboração.

As asserções de conhecimento (Apêndice B) fundamentam os conteúdos relacionados à temática do aquecimento global a serem avaliados com a aplicação do teste na população de professores e licenciandos em Física. Dentre os conteúdos abordados no questionário elegemos: *o fenômeno do efeito estufa, os gases de efeito estufa, a intensificação do efeito estufa, combustíveis fósseis, o conceito de aquecimento global, causas e consequências do aquecimento global, as mudanças climáticas, fatores naturais e mudanças climáticas, o sistema climático, a natureza da ciência.*

Frente a esses conteúdos, o teste tem por objetivo avaliar, principalmente: *o conhecimento e entendimento sobre os fenômenos do efeito estufa e aquecimento global, o entendimento sobre a intensificação do efeito estufa e sua relação com o aquecimento global, o entendimento sobre o papel dos fatores naturais no clima e no aquecimento global, a opinião/crença sobre a existência de um aquecimento global antropogênico, a opinião/crença sobre a existência de consenso/controvérsia científica sobre aquecimento global antropogênico.*

Como podemos verificar no Apêndice A, o questionário está dividido em diferentes seções, iniciando pelo perfil dos respondentes, onde estes fornecem informações como: a idade, formação, nível de ensino em que lecionam, tipo de instituição (pública ou privada) em que leciona e tempo de docência. As demais seções subdividem-se de acordo com o tipo de questão, constituindo um total de 15 questões.

Na primeira parte do instrumento temos três questões abertas (Q1, Q2, Q3) que versam sobre a natureza do efeito estufa, do aquecimento global e a inserção destes temas em sala de aula. As questões Q1 e Q2 visam investigar o entendimento (o nível de conhecimento) dos alunos e professores sobre esses fenômenos, bem como, obter indícios sobre o posicionamento do respondente frente à realidade do aquecimento global e as suas causas. A questão Q3 tem um objetivo distinto, buscando investigar em que medida o tópico é tratado em sala de aula por esses professores e qual a relação que eles fazem entre tais temas e o

currículo da disciplina de Física que ensinam.

Na segunda parte do questionário são apresentadas as questões fechadas Q4 a Q11 do tipo *likert*. Essa parte do questionário visa averiguar a opinião/crença do respondente frente a asserções que: *afirmam a existência do aquecimento global, afirmam a influência humana no aquecimento global, negam a existência do aquecimento global, enfatizam a ação de fatores naturais no aquecimento global e tratam da controvérsia/consenso científico sobre o tema*. Neste sentido, tais questões têm por foco averiguar o posicionamento do respondente sobre a questão da ação humana *versus* fatores naturais como causa do aquecimento global, além de buscar averiguar a percepção do respondente frente à questão da existência ou não de uma controvérsia científica sobre o tema. Em suma, o objetivo das questões Q4 a Q11 é averiguar a concordância/discordância do respondente frente ao construto “aquecimento global antropogênico”. Como veremos na seção 6.3, estas questões que compõe a escala *likert*, também foram submetidas ao processo de validação de construto.

Finalmente, na terceira parte do questionário temos as questões Q12 a Q15 que mesclam questões fechadas e abertas e que tratam de temas variados como a dinâmica do sistema climático, o estatuto epistemológico da ciência climática e finalmente o entendimento do respondente sobre a questão da natureza da ciência. Ou seja, a compreensão deste sobre a natureza do conhecimento científico, a falibilidade do conhecimento, o papel da evidência na avaliação de hipóteses e a dimensão social da ciência. Estas questões foram incluídas, pois, com base na literatura, formulamos a hipótese inicial de investigação de que existe uma correlação entre as crenças epistemológicas dos respondentes e os julgamentos de plausibilidade sobre o tema das mudanças climáticas (Driver et al., 1996; Mason, 2003; Lombardi & Sinatra, 2012).

Após esta etapa de construção que resultou numa primeira versão do questionário, passamos para a etapa seguinte da validação de conteúdo. Nesta etapa de validação contamos com a colaboração de três professores pesquisadores da área de Ensino de Física do Instituto de Física da UFRGS que fizeram a revisão detalhada das questões (itens) do questionário. A partir das sugestões fornecidas pelos revisores o questionário foi, então, revisado e reformulado, reduzindo-se o número de questões e buscando remover ambiguidades. O resultado final é o questionário de 15 questões que apresentamos no Apêndice A.

## 6.2 Análise e resultados da aplicação do questionário

Durante o ano de 2017 o questionário “Pesquisa de Opinião sobre Temas Ambientais” foi disponibilizado no site *Google Formulários*<sup>117</sup>, sendo divulgado em listas de e-mails do Instituto de Física (UFRGS), bem como em sites e blogs de divulgação científica. A coleta de dados foi realizada durante os meses de julho a outubro de 2017, obtendo 81 respostas. Outras 23 respostas foram obtidas aplicando o questionário em sala de aula de algumas disciplinas da Licenciatura em Física da UFRGS, durante o mesmo período. Posteriormente, estas respostas foram acrescentadas ao formulário online, obtendo-se como resultado final um total de 104 respondentes. Apresentamos na sequência uma análise descritiva das 104 respostas ao questionário, iniciando pelo perfil dos respondentes, análise de conteúdo das questões abertas Q1, Q2, Q3 e Q15 e estatística descritiva das questões fechadas Q4 a Q14.

### 6.2.1 O perfil do respondente

Os dados coletados sobre o perfil do respondente incluem: *idade, formação, nível de ensino em que exerce a docência, tipo de instituição em que exerce a docência (pública ou privada) e o tempo de docência*. Lembrando que o questionário não envolveu nenhuma identificação do respondente, assegurando o anonimato de todos os respondentes. As Tabelas 6.1 (a, b, c, d, e) apresentam uma descrição do perfil do respondente. Os dados foram analisados utilizando o software de estatística Jasp (<https://jasp-stats.org/>).

**Tabela 6.1:** Perfil do Respondente. (a) Idade, (b) Formação, (c) Nível de docência, (d) Instituição de docência, (e) Tempo de docência.

1. Idade?	Frequency	Percent
Até 25 anos	24	23.1
Entre 25 e 35 anos	31	29.8
Entre 35 e 45 anos	26	25.0
Acima de 45 anos	23	22.1
Missing	0	0.0
Total	104	100.0

(a)

<sup>117</sup> Veja

<https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSe8w3T1hv6Pemq9kQd2L4c36Gn-3lv-JQGo8G6tp6ia3QUk8g/viewform>.

2. Qual a sua formação?	Frequency	Percent
Graduação em Física com Pós-Graduação.	40	38.5
Graduação em Licenciatura em Física.	12	11.5
Cursando Licenciatura em Física.	39	37.5
Outras áreas (Geo, Qui, Bio, Mat, Eng)	13	12.5
Missing	0	0.0
Total	104	100.0

(b)

3. Lecionas em qual nível de ensino?	Frequency	Percent
Superior	19	18.3
Médio	51	49.0
Fundamental	3	2.9
Não leciona	31	29.8
Missing	0	0.0
Total	104	100.0

(c)

4. Lecionas em instituição?	Frequency	Percent
Não leciona	30	28.8
Privada	19	18.3
Pública	53	51.0
Missing	2	1.9
Total	104	100.0

(d)

5. Há quanto tempo exeres a docência?	Frequency	Percent
Acima de 25 anos.	11	10.6
Até 5 anos.	22	21.2
Entre 10 e 15 anos.	7	6.7
Entre 15 e 25 anos.	21	20.2
Entre 5 e 10 anos.	16	15.4
Não exerce	27	26.0
Missing	0	0.0
Total	104	100.0

(e)

Como podemos observar, a idade dos respondentes está distribuída de forma bastante uniforme entre as quatro categorias de idades apresentadas no questionário. Quanto à formação a maioria dos respondentes está distribuída entre os grupos “Licenciando em Física” (37,5%) e “Graduado em Física com Pós-Graduação” (38,5%). Doze (11,5%) respondentes possuem apenas graduação em Física e outros treze (12,5%) são respondentes com formação

em áreas de Geografia, Química, Biologia, Matemática e Engenharia. Resolvemos agrupar estes últimos, pois eram poucas as respostas para cada grupo. Por exemplo, obteve-se apenas uma resposta da Biologia, uma da Engenharia Eletromecânica, três da Matemática, três da Química e quatro da Geografia. O mesmo procedimento de agrupamento foi utilizado na amostra dos grupos representativos da Física. Assim, por exemplo, na amostragem original havia apenas três bacharéis em Física com pós-graduação. Resolvemos, então, agrupar os bacharéis em Física com pós-graduação com o grupo dos licenciados em Física com pós-graduação, formando o grupo “Graduado em Física com Pós-Graduação”.

Quanto ao exercício da docência vemos que 49% dos respondentes lecionam em nível médio, aproximadamente 30% não lecionam, 18% em nível superior e cerca de 3% em nível fundamental. Ao mesmo tempo, obtivemos que próximo aos 51% lecionam em escolas públicas, 19% em escolas privadas e, novamente, próximo aos 30% não lecionam. Quanto ao tempo de docência, cerca de 53% dos respondentes tem mais de cinco anos de experiência docente, cerca de 21% tem menos de cinco anos de experiência e cerca de 26% nunca exerceram a docência.

### **6.2.2 Resultados para as questões abertas Q1, Q2, Q3 e Q15**

As questões Q1, Q2, Q3 e Q15 constituem itens de resposta aberta. Para a sua análise utilizamos o referencial metodológico da análise de conteúdo de Bardin (2004). Seguindo as orientações de Bardin (2004), num primeiro momento foi feita uma leitura flutuante das respostas. Numa segunda leitura foram identificadas expressões, palavras-chave e temas comuns às diversas respostas. A partir desse processo de codificação, foi, então, possível identificar algumas categorias comuns às respostas.

Com respeito à questão “Q1.Explique o que é o efeito estufa”, foram identificadas as seguintes categorias de respostas, resumidas na Tabela 6.5: (1) *Infravermelho e Gases Estufa (correta)*; (2) *Retenção de Calor e Radiação Infravermelha (parcialmente correta)*; (3) *Reflexão e Absorção da Radiação Solar (alternativa)*; (4) *Poluição e Aquecimento Global (alternativa)*; (5) *Camada de Ozônio e Radiação Ultravioleta (alternativa)*; (6) *Subdesenvolvida*.

De modo similar ao trabalho de Dawson (2015), optou-se por classificar as respostas das categorias como “corretas” e “parcialmente corretas” (categorias 1 e 2) e

“subdesenvolvidas” (categoria 6). Além disso, introduzimos a classificação “alternativa” para descrever aquelas respostas que fazem uso inapropriado dos conceitos, como ocorre nas categorias (3) e (4). Estas últimas corroboram e estão em conformidade com os resultados de outros trabalhos que identificaram “concepções alternativas” de alunos e professores sobre o efeito estufa (Arslan, Cigdemoglu & Moseley, 2012; Ratinen, 2013; Niebert & Gropengiesser, 2014; Reinfried & Tempelman, 2014; Leiserowitz, 2010).

**Tabela 6.2:** Frequência de respostas por categoria para a questão Q1.

Categorias Q1	Frequency	Percent
Infravermelho e Gases (correta)	19	18.3
Retenção de Calor e IV (parcialmente correta)	16	15.4
Reflexão/Absorção Solar (alternativa)	18	17.3
Poluição e AG (alternativa)	13	12.5
Ozônio e UV (alternativa)	6	5.8
Subdesenvolvida	32	30.8
Missing	0	0.0
Total	104	100.0

Ao definir o que é o efeito estufa 19 respostas (18%) puderam ser classificadas como conceitualmente corretas de acordo com a categoria (1) *Infravermelho e Gases Estufa (correta)*. Essa categoria de respostas abarca aquelas respostas que fazem referência à radiação infravermelha emitida pela Terra e a sua absorção por gases de efeito estufa. Contudo, pôde-se observar que embora tais respostas expressem um entendimento conceitualmente correto, a maioria apresenta poucos detalhes sobre o mecanismo do efeito estufa. Assim, por exemplo, poucos respondentes identificam os gases estufa mais relevantes, como o vapor d’água, o dióxido de carbono, metano e o óxido nitroso. Ao mesmo tempo, ainda menos detalhes são fornecidos sobre a espectroscopia desses gases, de modo especial, a importante banda de absorção de 15 micrômetros do dióxido de carbono. Para ilustrar a escolha dessa categoria, podemos citar as seguintes respostas, sendo que a letra R seguida de um número identifica o sujeito frente a lista total de respondentes, por exemplo, R41 significa “respondente 41” dentre os 104 sujeitos que preencheram o questionário:

É um processo que ocorre quando a radiação infravermelha é absorvida por alguns gases na atmosfera aumentando sua energia térmica. (R41)

A radiação térmica devido ao aquecimento do solo não consegue sair. Na Terra, é devido a presença de moléculas que absorvem essa faixa de frequências e reemitem em todas as direções, inclusive de volta para a Terra. (R55)

Efeito resultante da absorção da radiação infravermelha emitida pela superfície pelos gases estufa (gás carbônico, metano, vapor d'água). (R68)

Em síntese é um processo físico que ocorre quando gases presentes na atmosfera, chamados de gases estufa, absorvem parte do calor por radiação infravermelho, que seria irradiado para o espaço, mas acaba sendo absorvido por estes gases e ficando na terra. (R75)

Por sua vez, 16 respostas (15%) foram classificadas como parcialmente corretas de acordo com a categoria (2) *Retenção de Calor e Radiação Infravermelha (parcialmente correta)*. Essa categoria reúne aquelas respostas que explicam o efeito estufa por referência à ideia de retenção de calor (energia térmica e radiação infravermelha). Nesta categoria é reconhecido o papel do calor e da radiação infravermelha no mecanismo de efeito estufa, contudo, não é feita nenhuma referência aos gases de efeito estufa e à absorção da radiação por esses gases. Assim, no lugar do emprego dos conceitos de “emissão” e “absorção”, tais respostas empregam uma linguagem com menos precisão conceitual (ou mais próxima do senso comum), fazendo referência à ideia de “retenção” de calor ou energia térmica na atmosfera. Como exemplos de respostas para essa categoria elencamos:

É o aquecimento natural ou além do natural de um sistema, no caso, o planeta Terra, por retenção de energia térmica em forma de calor. (R5)

Em poucas palavras, fenômeno de aquecimento atmosférico provocado pela retenção das ondas de infravermelho emitidas pela Terra. (R33)

O efeito estufa é um processo de retenção de energia térmica pela atmosfera de um planeta. (R58)

Retenção de calor entre a atmosfera e a superfície terrestre. (R80)

As próximas três categorias englobam 37 respostas (35%), do total de 104, que expressam “concepções alternativas” sobre o fenômeno do efeito estufa. Entre estas, destaca-se a não distinção entre radiação solar e radiação infravermelha na interação com a atmosfera, a ideia de que o efeito estufa é um fenômeno decorrente exclusivamente da poluição e o entendimento errôneo de que o efeito estufa tenha relação com o buraco na camada de ozônio. Tais concepções expressas nas categorias a seguir alinham-se a resultados obtidos em outros trabalhos da literatura que identificaram “concepções alternativas” similares entre alunos e professores sobre o efeito estufa (Arslan, Cigdemoglu & Moseley, 2012; Ratinen, 2013; Niebert & Gropengiesser, 2014; Reinfried & Tempelman, 2014; Leiserowitz, 2010).

Na categoria (3) *Reflexão e Absorção da Radiação Solar (alternativa)* identificamos 18 (17%) das respostas coletadas. Esta categoria representa aquelas respostas que explicam o efeito estufa em termos da reflexão ou absorção da radiação solar na atmosfera e na superfície terrestre. Respostas com ênfase na reflexão da radiação solar atribuem o efeito estufa à parcela de radiação que é refletida pela superfície e impedida de escapar para o espaço pela atmosfera. Assim, tais respostas negligenciam os processos de absorção e reemissão da radiação que ocorre na superfície terrestre e na atmosfera. Na medida em que não distinguem entre a reflexão, absorção e emissão, essas explicações também não diferenciam entre radiação visível (solar) e radiação infravermelha (emitida pela Terra). Encontram-se também nesta categoria as respostas que explicam o mecanismo de efeito estufa por referência à absorção dos raios solares incidentes na atmosfera. Novamente, nesses casos não é feita referência à radiação infravermelha, descrevendo o mecanismo do efeito estufa puramente em termos da radiação solar (visível). Como exemplos desta categoria de respostas podemos citar:

É o efeito de aquecimento do planeta devido a absorção de raios solares em excesso. Este excesso é causado pela presença de uma camada de gás carbônico presente em quantidade acima do normal na atmosfera. (R6)

É a elevação da temperatura devido à reflexão dos raios solares na atmosfera. (R26)

Parte da radiação advinda do sol precisa ficar retida em uma camada de gases da atmosfera. Numa situação de equilíbrio o efeito é natural e benéfico; em desequilíbrio pode ser prejudicial. (R48)

Efeito causado pelo aquecimento do ambiente devido ao bloqueio da radiação solar refletida pela superfície da Terra, evitando que essa radiação seja enviada para o espaço. (R51)

Na quarta categoria, (4) *Poluição e aquecimento global (alternativa)*, foram identificadas 13 (12%) respostas. Esta categoria é composta por aquelas respostas que concebem o efeito estufa como um fenômeno decorrente da poluição ou da atividade humana, bem como aquelas que confundem o efeito estufa com o próprio aquecimento global. Assim, tais explicações não reconhecem que o efeito estufa é um processo natural que é essencial à vida na Terra e que ocorre independente de qualquer atividade humana. Além disso, acabam por conceber erroneamente que o efeito estufa é o processo de aquecimento da Terra devido à emissão antropogênica de gases estufa. Ao mesmo tempo, tais respostas apresentam uma ideia de que aquecimento global é o resultado da emissão de poluentes atmosféricos, não distinguindo entre o problema da poluição do ar e o problema da emissão de gases de efeito estufa. Como exemplos desta categoria de respostas podemos citar:

Entende-se por efeito estufa o aumento da temperatura terrestre por conta da emissão de CO<sub>2</sub>. (R15)

Processo físico de aquecimento global devido a gases na atmosfera terrestre. (R18)

É a elevação da temperatura terrestre em consequência do excesso de gases poluentes na atmosfera das indústrias e automóveis. (R30)

Aumento da temperatura causado pelo excesso de poluentes que não permitem que boa parte da radiação, que deveria sair da Terra, saia. (R47)

A próxima concepção alternativa compõe a categoria (4) *Camada de ozônio e radiação ultravioleta (alternativa)*. Embora apenas 6 (5,5%) respostas façam parte desta categoria, consideramos relevante destacá-la, pois ela vai ao encontro de diversos trabalhos da literatura que identificaram tal concepção alternativa em respostas a questão sobre o que é o efeito estufa. Fazem parte desta categoria as respostas que confundem os fenômenos do efeito estufa com o problema do buraco de ozônio. Além disso, pôde-se observar que tais respostas não apenas confundem a função do gás ozônio nas diferentes camadas atmosféricas (ozônio troposférico *versus* ozônio estratosférico), mas também não diferenciam adequadamente entre os tipos de radiação envolvida em cada fenômeno, a saber, a radiação infravermelha e a radiação ultravioleta. Como exemplos desta categoria de respostas podemos citar:

A Terra diariamente recebe radiação do Sol, assim como emite radiação para o espaço, a camada de ozônio funciona como uma estufa, pois a radiação que é emitida pela Terra acaba sendo absorvida por alguns gases presentes na atmosfera e ficando presa na mesma, o que faz com que a temperatura aumente. (R32)

É um efeito causado pelas radiações infravermelhas que são emitidas pela superfície terrestre. Sistema de aquecimento do planeta devido bloqueio da Camada de ozônio. (R38)

Diminuição da densidade na camada de ozônio situada a 35 km do nível do mar. Em grande parte provocada pela emissão de gases poluentes por parte dos seres humanos. (R52)

O aumento da emissão de CO<sub>2</sub> contribui para a destruição da camada de ozônio, desprotegendo a Terra de certos raios solares! (R92)

Finalmente, temos 32 (30%) das respostas que foram classificadas na categoria (6) *Subdesenvolvida*. Esta categoria engloba respostas com uso inapropriado de conceitos, linguagem imprecisa, respostas curtas e que não foram desenvolvidas de forma suficiente para poderem ser categorizadas e agrupadas dentro das categorias anteriormente analisadas. Em

alguns casos, por exemplo, embora falem em absorção de radiação na atmosfera, não especificam o tipo de radiação envolvida (se radiação de ondas longas ou curtas). Como exemplo de tais respostas temos:

A manutenção térmica da superfície terrestre ocorrida devido à absorção e reflexão da radiação por parte da atmosfera (e das nuvens), fazendo com que a superfície do planeta permaneça com uma temperatura mais elevada. (R36)

A emissão de gases estufa aumentam a taxa de reflexão do calor do Sol que irá sair da atmosfera. (R94)

Efeito estufa é uma quantidade de calor que a Terra consegue segurar na atmosfera, impedindo-o de ser refletido para fora do planeta. (R95)

O efeito estufa é o fenômeno pelo qual a atmosfera terrestre retém os chamados "gases estufas", quais sejam, como principais, monóxido de carbono e dióxido de carbono. Esse efeito tende a ocasionar o aquecimento global. Entretanto, também garante a temperatura minimamente adequada para a vida. (R104)

Com isso, pode-se perceber que há consideráveis lacunas e erros conceituais nas explicações sobre o fenômeno do efeito estufa feitas tanto por professores(as) já atuantes como pelos professores(as) em formação. Além disso, a presença de poucos detalhes nas explicações evidencia que há um entendimento geral incompleto e insuficiente do fenômeno, sendo que apenas 18% das respostas foram classificadas na categoria “correta”. Pode-se notar que os resultados obtidos nessa questão são muito similares àqueles descritos em trabalhos que se dedicaram a mapear concepções de estudantes e professores sobre o efeito estufa (Arslan, Cigdemoglu & Moseley, 2012; Ratinen, 2013; Niebert & Gropengiesser, 2014; Reinfried & Tempelman, 2014).

Passamos agora para a análise da questão “Q2. *O que você entende por aquecimento global? Na sua opinião, ele está ocorrendo? Por quê (ou por que não)?*”. No que diz respeito ao entendimento sobre o que é o aquecimento global e a razão de sua ocorrência, a análise das respostas permitiu identificar as seguintes categorias: (1) *Temperatura e Efeito Estufa (correta)*; (2) *Temperatura e/ou Consequências (parcialmente correta)*; (3) *Temperatura e Poluição (parcialmente correta)*; (4) *Fenômeno Natural ou Controverso (alternativa)*; (5) *Subdesenvolvida*. A frequência de ocorrências das respostas para cada categoria é apresentada na Tabela 6.3, mostrada na sequência. Por sua vez, no que diz respeito à opinião sobre se o aquecimento global está ocorrendo, a ampla maioria 76 (73%) respondeu que sim, 20 (19%) dos respondentes não especificaram sua opinião, 5 (5%) responderam que não está ocorrendo e 3 (3%) responderam que não saberiam dizer, ou seja, suspenderam o juízo.

Com respeito à forma de construção das categorias de respostas da Tabela 6.3, seguimos novamente Dawson (2015). Assim, optamos por classificar as respostas nas categorias como “corretas” e “parcialmente corretas” (categorias 1, 2 e 3); “subdesenvolvidas” (categoria 5) e “alternativas” (categoria 4), sendo que esta descreve aquelas respostas que se distanciam da posição científica oficial sobre o tema (IPCC, 2013). Como demonstram os dados da Tabela 6.3, 27 (26%) respostas puderam ser classificadas como conceitualmente corretas, 42 (40%) respostas como parcialmente corretas, 19 (18%) respostas como expressando alguma concepção alternativa e 16 (15%), como subdesenvolvidas.

**Tabela 6.3:** Frequência de respostas por categoria para a questão Q2.

Categorias Q2	Frequency	Percent
Temp e Efeito Estufa (correta)	27	26.0
Temperatura e/ou Consequências (parcialmente correta)	21	20.2
Temperatura e Poluição (parcialmente correta)	21	20.2
Fenômeno Natural ou Controverso (alternativa)	19	18.3
Subdesenvolvida	16	15.4
Missing	0	0.0
Total	104	100.0

Ao descrever o entendimento dos respondentes sobre o que é o aquecimento global, 27 (26%) respostas puderam ser classificadas como conceitualmente corretas de acordo com a categoria (1) *Temperatura e Efeito Estufa (correta)*. Essa categoria abarca aquelas respostas que fazem referência à elevação da temperatura média da Terra e cuja causa é a intensificação do efeito estufa gerado pelas emissões antrópicas de gases de efeito estufa. Contudo, vale mencionar que muitas destas respostas oferecem poucos detalhes sobre como ocorre a intensificação do efeito estufa e o papel do ser humano nesse processo, de modo especial, a queima de combustíveis fósseis que é a principal fonte de emissões de gases estufa como o dióxido de carbono. Como exemplos desta categoria de respostas podemos citar:

O aquecimento global se deve ao aumento do efeito estufa. Os poluentes na atmosfera fazem com que uma parcela ainda maior da energia, calor, emitida pela Terra fique retida na atmosfera, ou seja, conduz menos energia para fora da atmosfera, e como resultado um aumento da temperatura a cima do normal. Enquanto temos fontes emissoras de muitos poluentes, acredita-se que o aquecimento global está ocorrendo. (R17)

Aumento da temperatura média do planeta. Sim, acredito que exista um aumento do efeito estufa provocado pela ação humana. (R33)

O efeito estufa que aquece a Terra é um processo natural, o que vem ocorrendo é o aumento de compostos de carbono liberados na atmosfera, o que intensifica o efeito estufa, aumentando a temperatura média do planeta. (R61)

O aquecimento global ocorre por causa do aumento da temperatura média da atmosfera da Terra e dos oceanos. Esse aumento ocorre por causa das grandes quantidades de gases emitidos que aumentam o efeito estufa do planeta. Acredito que o aquecimento global esteja acontecendo, podemos ver isso, por exemplo, no aumento do derretimento das geleiras, no aumento dos oceanos. (R103)

Por sua vez, 21 respostas (20%) foram classificadas como parcialmente corretas de acordo com a categoria (2) *Temperatura e/ou Consequências (parcialmente correta)*. Esta categoria engloba aquelas respostas que fazem referência à elevação da temperatura média da Terra, podendo incluir a descrição dos efeitos do aquecimento global como o derretimento das geleiras, elevação do nível dos oceanos, dentre outros. Embora as respostas nessa categoria descrevam corretamente que o aquecimento global consista numa elevação da temperatura média da Terra, elas não mencionam as causas do aquecimento global, a saber, a intensificação do efeito estufa devido à emissão de gases de efeito estufa. Como exemplos desta categoria de respostas podemos citar:

Aquecimento global, segundo meu entendimento, é a elevação da temperatura média do planeta. Imagino que efeitos como o derretimento de calotas polares, o aumento do nível dos oceanos e formação de imensas células de tempestade, devem-se ao aquecimento global. (R1)

Aquecimento global é o aumento da temperatura média da Terra. Acredito que está acontecendo sim, pois tem ocorrido grande degelo nas regiões polares. (R2)

É o aumento da temperatura média global. O aquecimento global é dado como certo segundo dados da série histórica da temperatura do IPCC, no site da NASA ou ainda lendo James Hansen. (R40)

Aumento da temperatura da Terra para além dos níveis esperados. Com certeza está ocorrendo, através de diversas fontes entende-se que a temperatura nos últimos cinco anos é maior do que nos últimos cinco séculos. As notícias do derretimento das camadas de gelo em regiões polares também reforçam essa ideia. (R56)

Do total, 21 (20%) das respostas puderam ser classificadas como parcialmente corretas de acordo com a categoria (3) *Temperatura e Poluição (parcialmente correta)*. Esta categoria reúne as respostas que também falam em elevação da temperatura (média) do planeta, contudo, associando esse aumento com a questão da poluição do ar, atividades humanas e queima de combustíveis fósseis sem fazer referência à intensificação do efeito

estufa. É importante notar que nesta categoria de respostas o termo “poluição” é tratado de forma genérica, não distinguindo entre os tipos de poluentes atmosféricos envolvidos. Por exemplo, entre os gases de efeito estufa responsáveis pela intensificação do efeito estufa que causa o aquecimento global e outros poluentes atmosféricos com o monóxido de carbono, dióxido de enxofre, óxidos de nitrogênio, aerossóis, etc. (Miller, & Spoolman 2015), que são responsáveis por outros efeitos ambientais indesejados, inclusive para a saúde humana. Neste sentido, a análise desta categoria de respostas sugere a existência de uma ideia vaga e incompleta sobre “poluição atmosférica”. Como exemplos desta categoria de respostas podemos citar:

Aumento da temperatura no globo terrestre devido aos gases poluentes na atmosfera terrestre. Sim ele está ocorrendo, dados científicos denotam um aumento na temperatura terrestre em diversas regiões e outro fato é o derretimento de calotas geladas no polos. (R18)

Sim. O aquecimento global refere-se ao aquecimento de nosso planeta por vários motivos como poluição. (R38)

Aquecimento global é o conceito amplo de que a temperatura média do planeta está aumentando, e que a atividade humana influencia neste aumento. Na minha opinião, ele está ocorrendo. Existem correlações bastante contundentes entre o aumento da atividade industrial e o aquecimento médio do planeta. (R66)

Aquecimento que ocorre devido à ação humana no Planeta. É fato que desde a revolução industrial o planeta aquece mais do que o que aqueceria naturalmente. Gráfico do taco de hóquei. (R73)

A quarta categoria (4) *Fenômeno Natural ou Controverso (alternativa)* reúne 19 (18%) respostas. Optamos por classificar essas respostas como “alternativas”, pois, como já observado, elas se distanciam da posição científica oficial sobre o tema (IPCC, 2013). Esta categoria engloba as respostas que descrevem o aquecimento global como sendo um fenômeno natural, como sendo um tema controverso, tanto natural como controverso e em alguns casos sugerindo a sua inexistência. Assim, na medida em que associam a existência do aquecimento global a um fenômeno (ciclo) natural do planeta Terra, tais explicações rejeitam ou suspendem o juízo sobre a causa antropogênica do aquecimento global. Por sua vez, ao descrever o aquecimento global como controverso estas respostas expressam a opinião ou percepção de que há uma controvérsia científica sobre a existência e as causas do aquecimento global. Assim, os respondentes parecem revelar que não possuem meios para responder de forma segura se há ou não consenso científico sobre a temática. Tais respostas

exemplificam de forma bastante evidente que existe uma grande lacuna de conhecimento da história da ciência do clima por parte dos respondentes. Como exemplos desta categoria de respostas podemos citar:

Difícil saber. Existem tantos trabalhos que mostram que o efeito estufa é causado pelo homem, já outros indicam que é uma tendência natural. Honestamente eu não sei em quem acreditar. (R44)

Não, porque só uma manifestação vulcânica emite muito mais poluentes do que toda atividade humana. O aquecimento global é cíclico. O que realmente preocupa é o desequilíbrio ecológico que o homem vem causando. (R47)

Aumento da temperatura do planeta por conta do aumento da concentração dos gases que intensificam o efeito estufa. Acredito que esteja ocorrendo sim, mas a causa ainda é controversa. De todo modo, acredito que a ação do homem é um dos fatores. (R75)

Como falado em Q1, é o aumento da temperatura global devido à poluição. Na minha opinião, esse efeito não ocorre, pois é um ciclo que ocorre na Terra a séculos, não se justificando esse aumento pelas informações passadas pela mídia. (R88)

Finalmente, temos 16 (15%) de respostas que foram classificadas conforme a categoria (5) *Subdesenvolvida*. Novamente, esta categoria engloba respostas que fizeram uso inapropriado de conceitos, linguagem imprecisa, respostas curtas ou que não foram desenvolvidas de forma suficiente para poderem ser categorizadas e agrupadas dentro das categorias anteriores. Como exemplo de tais respostas temos:

O aquecimento global é uma causa da maior suspensão de partículas na atmosfera, incrementando o efeito estufa em nosso planeta. Ele está ocorrendo e o estilo de vida da sociedade atualmente está influenciando mais em seu efeito. (R4)

Aumento da média global de temperatura devido à retenção de raios solares retidos pela grande concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera. (R10)

Superaquecimento da terra. Sim pois o clima do planeta anda em mutação. (R39)

É um aumento de temperatura da Terra em oceanos e mares que causam emissão de gases e aumento do efeito estufa e ocasionados pelos humanos, como o desmatamento. (R46)

A partir desta categorização, podemos perceber que, assim como na resposta à questão Q1, as respostas à questão Q2 exibem consideráveis lacunas conceituais e ao mesmo tempo revelam um contato ainda superficial com a temática do aquecimento global. Com isso, pode-se observar a partir da análise de conteúdo que a temática do aquecimento global,

mudanças climáticas, e temas correlatos, como efeito estufa, vêm sendo pouco discutidos e aprofundados nos cursos de graduação de licenciatura em Física. Em face das lacunas conceituais, históricas e epistemológicas observadas, há um senso de urgência quanto à necessidade de fomentar a inserção desse tópico na sala de aula dos cursos de formação de professores, especialmente em face da importância fundamental de sua atividade profissional, como formadores de cidadãos mais críticos, conscientes e participativos na sociedade, em especial, em relação a temas sociocientíficos.

Consideremos agora a terceira questão aberta “Q3. *Você já tratou da temática do efeito estufa e aquecimento global em suas aulas de Física (se sim, em que contexto)? Consideras apropriado tratar desses temas nas aulas de Física? Por quê (ou por que não)?*”. Com respeito à pergunta sobre se já trataram da temática em sala de aula na disciplina de Física, 58 (56%) responderam que sim, 29 (28%) responderam que não e 17 (16%) não responderam a essa pergunta. Quando perguntados sobre se consideram apropriado tratar desse tema nas aulas de Física, a ampla maioria 82 (79%) responderam que sim, 4 (4%) respondeu que é apropriado apenas quando previsto na ementa (currículo) da disciplina e 18 (17%) não respondeu a esta pergunta.

Por sua vez, com relação à pergunta sobre o *contexto* em que o assunto foi abordado em sala de aula, foi possível agrupar as respostas de acordo com algumas categorias que especificam o contexto curricular (conteúdo) em que o tema foi abordado, conforme é apresentado na Tabela 6.4.

**Tabela 6.4:** Frequência de respostas para cada “contexto/conteúdo” disciplinar da questão Q3

Q3 Qual contexto?	Frequency	Percent
Transmissão de Calor	10	9.6
Termodinâmica	8	7.7
Calorimetria	7	6.7
Energia	6	5.8
Ótica	4	3.8
Trabalhos interdisciplinares	6	5.8
CTS	5	4.8
Outro	6	5.8
não definiu/respondeu	52	50.0
Missing	0	0.0
Total	104	100.0

Em primeiro lugar, podemos observar que 52 (50%) dos respondentes (professores ou futuros professores) não responderam a esta questão ou não definiram o contexto em que

poderia ser discutida a temática do aquecimento global em sala de aula. Dentre os demais 52 respondentes, a maioria mencionou contextos relacionados a conteúdos como a *transmissão de calor* (condução, convecção e radiação), *termodinâmica*, *calorimetria*, *energia e ótica*. De fato, como foi visto na revisão da literatura (Besson, De Ambrosis & Mascheretti, 2010), estes são contextos disciplinares plenamente apropriados para a discussão da física básica do efeito estufa. Outros respondentes mencionaram o contexto dos *Trabalhos Interdisciplinares* e da abordagem *CTS*. Assim, destacam a adequação do tema para a implementação da interdisciplinaridade e articulação com outras disciplinas científicas ou, ainda, para discussão de aspectos mais amplos, como as dimensões sociais e políticas da ciência (contexto *CTS*). Novamente, tanto a interdisciplinaridade quanto a abordagem *CTS* se mostram apropriadas, uma vez que a literatura em ensino de Ciências concebe a temática do aquecimento global como sendo um tema sociocientífico. Por fim, restam aqueles respondentes que agrupados sob o rótulo “*Outro*” e que citam contextos diversos, como a astronomia, a química (termoquímica) e a ciência do ensino fundamental como espaços para a abordagem do tema. Dado que aproximadamente metade não respondeu ou não indicou contexto, isto permite inferir que a temática ainda está bastante ausente das salas de aula da educação básica.

Finalmente, consideremos a questão “*Q15. Na sua opinião, como podemos distinguir o conhecimento científico legítimo de uma alegação sem fundamentação científica? Ou seja, como distinguir entre a “boa ciência” (trabalho científico de qualidade) e a “má ciência” (trabalho de baixa qualidade, sem fundamentação científica)?*” A inclusão dessa questão no questionário foi feita no intuito de buscar indícios sobre as crenças epistemológicas dos respondentes no que diz respeito à natureza da ciência e, dessa forma, tentar averiguar em que medida tais crenças epistemológicas podem influenciar a opinião dos respondentes sobre a temática do aquecimento global. Como já observado anteriormente, essa hipótese de investigação foi inspirada em trabalhos da literatura que sugerem a existência de uma correlação entre as crenças epistemológicas dos respondentes e os julgamentos de plausibilidade sobre o tema das mudanças climáticas (Driver et al., 1996; Mason, 2003; Lombardi & Sinatra, 2012).

A partir da análise das respostas à questão Q15, foi possível agrupar as respostas de acordo com a concepção do respondente sobre a natureza da ciência, resultando nas seguintes categorias: (1) *Empírica*; (2) *Teórica e Empírica*; (3) *Social*; (4) *Teórica, Empírica e Social* e (5) *Não especificou* (ou seja, que não foi possível ser identificada). A frequência de respostas por categoria é apresentada na Tabela 6.5. Vale notar que a categoria (5) *Não especificou*

abriga 43 (41%) dos respondentes, que não forneceram detalhes suficientes em sua resposta, de modo que não foi possível identificar a concepção epistemológica subjacente. Este número foi considerado elevado, podendo indicar a ausência de formação epistemológica em sua formação.

**Tabela 6.5:** Frequência de respostas por categorias para a questão Q15.

Categorias Q15	Frequency	Percent
Empírica	19	18.3
Teórica e Empírica	11	10.6
Social	18	17.3
Teórica, Empírica e Social	13	12.5
Não especificou	43	41.3
Missing	0	0.0
Total	104	100.0

Como podemos ver na Tabela 6.5, 19 (18%) das respostas pertencem à categoria “*Empírica*”. Esta categoria abarca aquelas repostas que ao distinguirem entre conhecimento científico e alegações sem fundamento científico, enfatizam o aspecto empírico da ciência. Ou seja, concebem o conhecimento científico como sendo oriundo dos dados, da experimentação, das evidências empíricas e da confrontação com a natureza, que é considerado na literatura como uma visão epistemológica superada. Como exemplos desta categoria de respostas podemos citar:

A boa ciência acontece quando o que é previsto em teoria encontra uma comprovação experimental. Até que algum experimento comprove o contrário a teoria é válida. (R13)

Somente através de experimentação, de constante verificação do conhecimento científico proposto é que pode-se distinguir o conceito verdadeiramente embasado na ciência [...]. (R51)

Acredito que a "boa ciência" é feita a partir de pesquisas com grande quantidade de dados e que leve em consideração diversos aspectos do objeto de estudo onde o objetivo seja conhecer melhor o objeto. (R97)

Por sua vez, 11 (10%) das respostas constituem a categoria “*Teórica e Empírica*”. Esta categoria de respostas consiste em repostas que enfatizam o aspecto empírico em conjunção com a dimensão teórica da ciência. Ou seja, além da adequação empírica, enfatizam como método científico, a construção de modelos matemáticos e a formulação de

hipóteses testáveis. Como exemplos desta categoria de respostas podemos citar:

A metodologia científica aplicada na formação do conhecimento científico costuma gerar "boa ciência", pois seus testes de hipóteses podem ser replicados, de forma que o conhecimento se consolide [...]. (R1)

A "boa ciência" é realizada com fatos e teorias desenvolvidas para esclarecê-los, ou vice-versa. A "má ciência" é como boato, você dúvida mesmo sem conhecer o assunto. Ela não tem sustentação científica. (R11)

O conhecimento científico deve estar apoiado de forma coerente e lógica em outros conhecimentos científicos e em experimentos ou observações da natureza que possam ser repetidos por outras pessoas para validação. O conhecimento científico não deve depender de características culturais ou sociais. O conhecimento científico deve ser falseável. (R81)

Um total de 18 (17%) das respostas constitui a categoria "*Social*". Esta categoria consiste em repostas que enfatizam a dimensão social da ciência, fazendo referência aos processos de revisão por pares, a qualidade das revistas e suas publicações, o debate entre pares e o papel da comunidade científica nesse processo. Como exemplos desta categoria de respostas podemos citar:

A "boa ciência" é apreciada pela comunidade acadêmica, destacada nacional e internacionalmente, que seja baseada em resultados técnicos e científicos corroborados por vários grupos de pesquisa. A "má ciência" é aquela que serve para auxiliar atores a justificar seus meios através de pesquisas fraudulentas, tendenciosas, inconclusivas. (R64)

É preciso conhecer minimamente as áreas específicas. Bons artigos científicos são publicados em periódicos com revisão por pares. Citam pesquisas relevantes. São citados em outros trabalhos publicados nos mesmos locais, suas informações são verificáveis, não são dogmáticas, dentre outros. Mas não existe receita de bolo infalível: Vários aspectos precisam ser considerados. (R90)

É difícil responder com muita segurança, pois sempre pode existir algum argumento ou exemplo que não se encaixe e seja considerado boa ciência, mas vou dizer que são trabalhos aceitos pelos pares (comunidade científica, grupos seletos de especialistas nas área e etc...) e muitas vezes passíveis de revisão. (R91)

Por sua vez, 13 (12%) das respostas constituem a categoria "*Teórica, Empírica e Social*". Essa categoria de respostas consiste em repostas que enfatizam a dimensão social em conjunção com um ou os dois aspectos empíricos e teóricos. Como exemplos desta categoria de respostas podemos citar:

O conhecimento científico está ancorado em processos de legitimação por pares e tem como lastro corroborações que atestam um saber em detrimento de outro, do modo mais objetivo possível. É falível, é temporal, é inacabado, mas é o melhor que

podemos sem recorrer a subjetivismos ao vento. É, sobretudo, resultado de uma complexa interação entre teoria e observação [...]. (R29)

Olhando o método de captação e análise dos dados, se os métodos de captação e análise dos dados não são consolidados no meio social e acadêmico o trabalho não é muito confiável. (R40)

Um trabalho de boa qualidade é aquele que se relaciona a outros trabalhos já realizados. Ele deve considerar o que já foi publicado sobre seu tema. Além disso, deve apresentar argumentos científicos consistentes, sejam teóricos, experimentais ou epistemológicos. (R104)

### **6.2.3 Resultados para as questões fechadas Q4 a Q14**

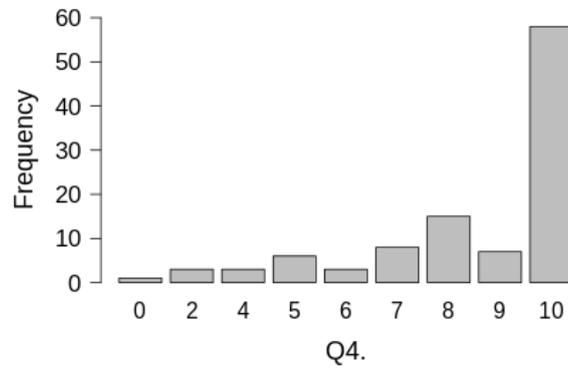
As questões fechadas Q4 a Q14 constituem itens de resposta única. Nas questões Q4 a Q11 o questionário tem itens do tipo *likert*, onde cada item constitui uma afirmativa sobre a qual o respondente pode expressar o seu grau de concordância ou discordância numa escala de onze pontos, ou seja, de 0 até 10, onde: 0 = Discordo Fortemente; 5 = Não Concordo nem Discordo; 10 = Concordo Fortemente. Ao utilizar a escala de onze pontos, o ponto neutro (não concordo nem discordo) da escala incide sobre o número cinco (5). Por sua vez, nas questões Q12, Q13 e Q14 o respondente pôde optar por uma das alternativas apresentadas na questão, conforme pode ser verificado no questionário apresentado no Apêndice A.

Neste primeiro momento, apresentaremos apenas uma análise descritiva das questões, com tabelas de frequências das respostas e gráficos de barras para os itens do tipo *likert*. Na próxima seção (seção 6.3), passaremos a tratar da validade de construto (análise fatorial e de consistência interna) dos oito itens *likert*, bem como do estudo sobre a relação entre as diversas variáveis do questionário com o escore médio obtido nos oito itens *likert*.

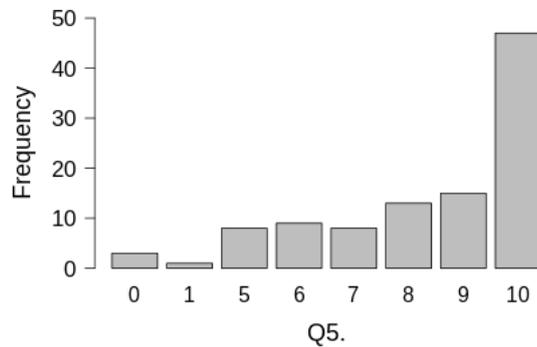
#### **6.2.3.1 Gráficos de barras para os itens Q4 a Q11**

Apresentamos as asserções que constituem cada item e na sequência o gráfico de barras para visualização rápida da frequência das respostas e, ao final, uma análise global. Lembrando que a escala de concordância é: 0 = Discordo Fortemente; 5 = Não Concordo nem Discordo; 10 = Concordo Fortemente.

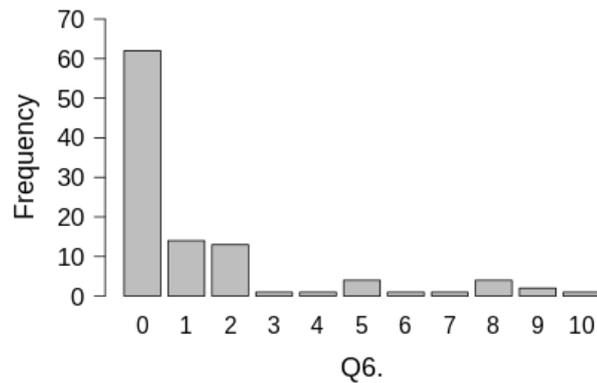
**Q4.** Desde o começo da revolução industrial, por volta de 1750, as ações humanas, principalmente a queima de combustíveis fósseis, levaram a aumentos significativos nas concentrações de gases de efeito estufa.



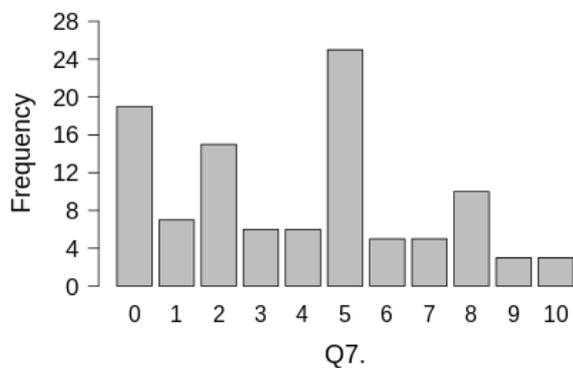
**Q5.** O aquecimento global está ocorrendo. Nas últimas décadas tem-se observado que a atmosfera e os oceanos estão aquecendo, que a cobertura de gelo e neve tem diminuído e que o nível do mar tem aumentado.



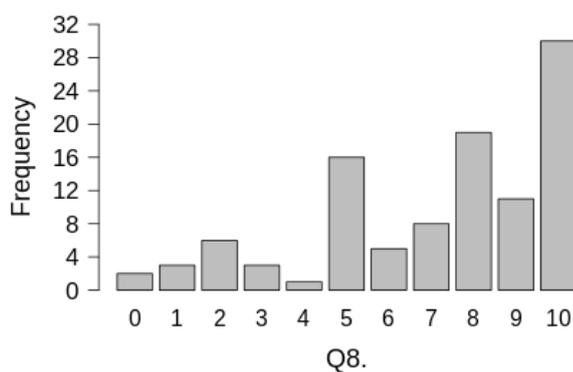
**Q6.** Não existe aquecimento global. Não há evidências científicas que indiquem que a Terra esteja aquecendo.



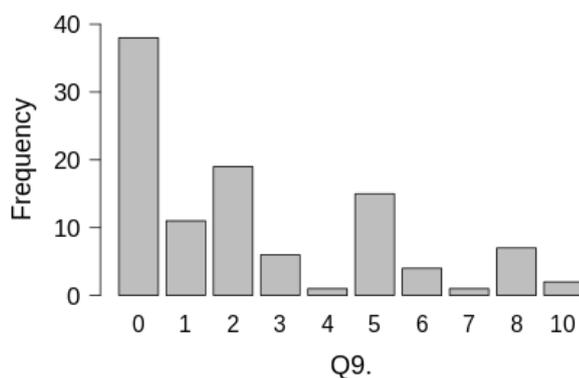
**Q7.** *No passado a Terra passou por diversos ciclos naturais de aquecimento e resfriamento. Assim, muito provavelmente o aquecimento global observado recentemente seja devido a um ciclo natural.*



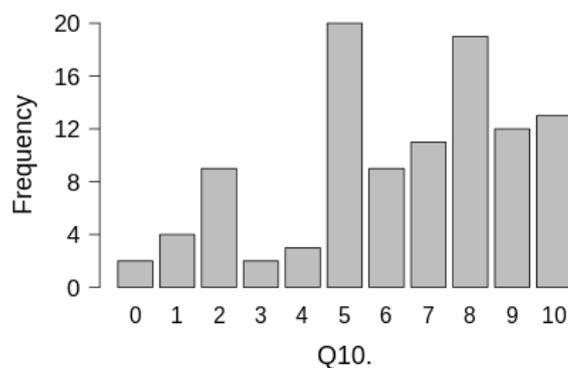
**Q8.** *É extremamente provável que as emissões humanas de gases de efeito estufa sejam o principal fator responsável pelo aquecimento global observado a partir da segunda metade do século XX.*



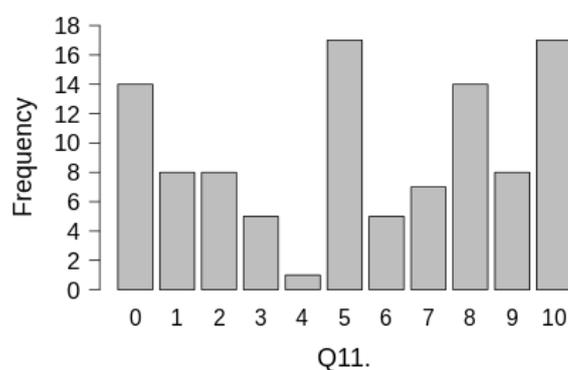
**Q9.** *A ação do homem é muito pequena quando comparada com as forças naturais (Sol, vulcões, etc.) que regulam o clima da Terra. Logo, a influência do homem sobre o clima é desprezível.*



**Q10.** *O aumento da concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera, devido a queima de combustíveis fósseis, é o principal fator causador do aquecimento global.*



**Q11.** *A existência de um aquecimento global causado pela ação do homem é ainda uma matéria de ampla disputa na comunidade científica, não havendo consenso científico a respeito.*



**Tabela 6.6:** Médias e desvios padrões das respostas Q4 a Q11.

	Q4.	Q5.	Q6.	Q7.	Q8.	Q9.	Q10.	Q11.
Valid	104	104	104	104	104	104	104	104
Missing	0	0	0	0	0	0	0	0
Mean	8.510	8.269	1.346	3.904	7.163	2.433	6.356	5.394
Std. Deviation	2.216	2.316	2.425	2.898	2.808	2.712	2.709	3.507

A partir dos gráficos de barras e da Tabela 6.6 acima, podemos perceber que as respostas exibem grande variância, com desvios padrões elevados. Como podemos ver nas asserções, as questões Q4, Q5, Q8 e Q10 afirmam a existência do aquecimento global e a influência humana nesse aquecimento. Percebe-se que as médias em todas estas questões

indicam concordância com o AGA. Contudo, é importante notar que todos os itens exibem um desvio padrão considerável, deixando evidente que as respostas se distribuem ao longo de um amplo espectro, como exemplificam os gráficos de barras. Ou seja, há diferenças consideráveis de opinião entre os respondentes quanto à realidade física do aquecimento global, bem como com relação à sua causa.

As questões Q6, Q7 e Q9 compõem as variáveis que medem a crença dos respondentes sobre a não interferência humana no aquecimento global, acentuando as causas naturais do aquecimento global ou a sua não existência. Pode-se notar que, de forma coerente com os itens anteriores, as médias das respostas desses itens indicam discordância com a não interferência humana. Contudo, é interessante notar no item Q7, que coloca em cena a questão da variabilidade natural do clima e a possibilidade do aquecimento ser parte de um ciclo natural, uma grande variância nas opiniões/crenças, indicando que **boa parte dos respondentes parece não ter conhecimento suficiente sobre o tema para poder descartar, com confiança, a ação da variabilidade natural como explicação do aquecimento observado recentemente.**

De fato, o tema da “variabilidade natural”, muito presente na mídia e amplamente citado nos meios céticos e negacionistas do aquecimento global, produz um efeito similar àquele produzido pelas opiniões difundidas por cientistas céticos na esfera pública e que incide, principalmente, na questão da percepção da existência ou não de uma controvérsia científica sobre o tema como afirmado na questão Q11 e sobre a qual teceremos um comentário adicional.

A questão Q11 mede a crença do respondente a respeito do nível de consenso científico sobre aquecimento global antropogênico, ou seja, informa a percepção do respondente sobre a existência ou não de uma controvérsia científica sobre este tema. Além da distribuição de respostas exemplificada no gráfico de barras, pode-se acrescentar que **49% das respostas estão entre os níveis de confiança 6-10, ou seja, concordam que existe uma controvérsia científica** sobre aquecimento global antropogênico. Por sua vez, 16,3% estão localizadas no nível 5, ou seja, não concordam nem discordam ou não têm opinião formada sobre a existência, ou não, de uma controvérsia científica. Finalmente, apenas 34,6% das respostas estão entre os níveis de confiança de 0-4, ou seja, tendem a discordar que aquecimento global seja uma matéria de controvérsia científica.

As respostas à questão Q11 fornecem um resultado muito significativo. Em primeiro lugar, este é um resultado em amplo contraste com os resultados de trabalhos de revisão da

literatura que avaliaram o consenso científico entre especialistas da área climática e que demonstram um nível de acordo de 97% entre cientistas sobre a causa antropogênica do aquecimento global (Oreskes, 2004; Anderegg et al., 2010; Doran & Zimmerman, 2009).

Ao mesmo tempo, as respostas à Q11 não constituem um resultado completamente surpreendente, uma vez que outros trabalhos que avaliaram a opinião do público leigo e de professores da educação básica chegaram a resultados similares. Assim, por exemplo, num estudo conduzido com 2030 adultos americanos, Leiserowitz (2010, p.10) concluiu que 44% dos respondentes, quando perguntados sobre a percepção do nível de consenso entre cientistas sobre a causa antropogênica do aquecimento global, consideram que há desacordo entre cientistas, 17% responderam que são indecisos e 39% que existe consenso. Em outro estudo envolvendo uma amostra de professores da educação básica, Plutzer, et al. (2016) concluíram que, mesmo entre aqueles professores que consideram que aquecimento global é de origem antrópica, apenas 50 % destes consideram que existe um forte consenso científico (entre 81-100% dos cientistas) dentro da comunidade científica sobre a causa antropogênica do aquecimento global. Ou seja, resultado similares ao obtido na presente investigação.

#### 6.2.3.2 Padrão respostas para as questões Q12, Q13, Q14:

**Q12.** *Qual das alternativas abaixo melhor representa o seu entendimento sobre o comportamento do clima da Terra?*

**Tabela 6.7:** Frequência e percentual das respostas à Q12.

Q12.	Frequency	Percent
O clima da Terra é muito estável.	2	1.9
O clima da Terra é estável dentro de certos limites.	44	42.3
O clima da Terra é caótico e imprevisível.	1	1.0
O clima é sujeito a mudanças abruptas e catastróficas.	37	35.6
O clima da Terra muda de forma lenta e gradual.	20	19.2
Missing	0	0.0
Total	104	100.0

**Q13.** Qual a sua percepção sobre o status científico da pesquisa sobre aquecimento global antropogênico?

**Tabela 6.8:** Frequência e percentual de respostas à Q13.

Q13.	Frequency	Percent
É uma área de pesquisa ainda em fase de consolidação (sem AGA)	14	13.5
É uma área de pesquisa historicamente consolidada (com AGA)	12	11.5
É uma área de pesquisa complexa com muitas incertezas envolvidas (sem AGA)	11	10.6
É uma área de pesquisa complexa com muitas incertezas envolvidas (com AGA)	67	64.4
Missing	0	0.0
Total	104	100.0

**Q14.** Na sua opinião, qual das alternativas abaixo melhor descreve a natureza do conhecimento científico?

**Tabela 6.9:** Frequência e percentual de respostas à Q14.

Q14.	Frequency	Percent
Conhecimento científico é falível: empiricamente corroborado.	35	33.7
Conhecimento científico é infalível: empiricamente comprovado.	3	2.9
Conhecimento científico é falível: construído socialmente.	55	52.9
Conhecimento científico é arbitrário: determinado por fatores sociais.	11	10.6
Missing	0	0.0
Total	104	100.0

Como podemos perceber, na questão Q12 a quase totalidade das respostas ficou distribuída entre os primeiros três grupos, a saber: *O clima é estável dentro de certos limites*; *O clima da Terra possui um equilíbrio delicado* e *O clima muda de fora lenta e gradual*. Os grupos *O clima da Terra é caótico e imprevisível* e *O clima da Terra é muito estável* possuem apenas uma e duas respostas, logo, não oferecem participações significativas da população de professores(as) formados(as) e em formação que constituem nossa amostra.

Na questão Q13 encontramos as respostas distribuídas nas quatro alternativas, havendo, contudo, uma preferência de 67 (64%) respondentes pela alternativa *É uma área de pesquisa complexa com muitas incertezas, mas com AGA*. Ou seja, a maioria dos respondentes considera que cientistas já sabem que o aquecimento global é devido a atividade humana. Por fim, na questão Q14 as respostas se distribuem nas primeiras três alternativas, sendo que a alternativa *Conhecimento científico é infalível: empiricamente comprovado*, possui apenas 3 respondentes, não constituindo uma parcela representativa dos alunos e professores.

### 6.3 Validade de Construto das Questões Q4 a Q11: análise fatorial e análise de consistência interna

Como observado na seção 6.1, o questionário por nós construído passou por um processo de *validação de conteúdo* que contou com a revisão e avaliação de três professores (especialistas) da área de Ensino de Física. Passaremos agora a tratar de mais uma etapa da validação de testes que consiste na *validade de construto* voltada para as questões Q4 a Q11.

A validade de construto ou conceito visa averiguar se o teste mede o que supostamente deve medir. A literatura da área de psicometria sugere a utilização de duas técnicas estatísticas para a avaliação da validade de construto de um teste, a saber, a *análise fatorial* e a *análise de consistência interna* (Pasquali, 2013). No que segue, iniciaremos com a análise fatorial para depois realizar a análise de consistência interna.

A análise fatorial permite avaliar a unidimensionalidade dos itens que compõe o teste, isto é, se os itens estão medindo uma única e mesma coisa (Pasquali, 2013). Em outras palavras, a análise fatorial permite verificar se uma série de itens pode ser reduzida a um único fator (traço latente ou construto) com o qual todas variáveis (itens) do questionário estão relacionadas. A relação de cada item com o fator é expressa através da correlação de cada item com o fator e denominada de carga fatorial<sup>118</sup>. Assim, itens que possuem alta carga fatorial (superior a 0.3) são itens unidimensionais que medem o mesmo fator (Pasquali, 2013).

Antes de tudo, para poder proceder na análise fatorial, é importante observar que foi feita a inversão das escalas dos itens Q6, Q7, Q9 e Q11. Esse procedimento é recomendado para análise de variáveis do tipo *likert*, de modo que um escore alto/baixo em cada um dos itens tenha o mesmo significado. De fato, como visto na análise de conteúdo, enquanto que os itens Q4, Q5, Q8 e Q10 afirmam a interferência humana no clima, os itens Q6, Q7, Q9 e Q11 afirmam o contrário, ou seja, a não interferência humana. Após invertida a escala, temos, então, que um escore alto/baixo em qualquer um dos oito itens indica a concordância/discordância com o aquecimento global antropogênico (observando que as novas variáveis são apresentadas com os rótulos QQ4, QQ5, QQ6, QQ7, QQ8, QQ9, QQ10, e QQ11).

Passemos agora para a análise fatorial. Para efetuá-la empregamos o software de

---

<sup>118</sup> Lembrando que uma correlação alta possui valor próximos a -1 e a 1. Observamos, também, que todas as variáveis são tratadas como contínuas. Isso se justifica, uma vez que a literatura considera que itens do tipo *likert* podem ser tratados como variáveis contínuas, sem prejuízo para a análise (Carifio & Perla, 2007).

estatística JAMOVI (<https://www.jamovi.org/>)<sup>119</sup>. O procedimento utilizado para a análise fatorial foi o *método das componentes principais*. Um resumo do resultado da análise fatorial é apresentado nas Tabelas 6.10.

**Tabela 6.10:** Análise Fatorial usando método das Componentes Principais. (a) Matriz de Correlações. (b) Variância Total Explicada. (c) Matriz de Componentes.

	QQ4	QQ5	QQ6	QQ7	QQ8	QQ9	QQ10	QQ11
QQ4	—	0.397	0.413	0.354	0.571	0.405	0.455	0.187
QQ5		—	0.632	0.384	0.460	0.413	0.518	0.422
QQ6			—	0.508	0.398	0.461	0.323	0.418
QQ7				—	0.447	0.472	0.438	0.443
QQ8					—	0.537	0.559	0.411
QQ9						—	0.374	0.192
QQ10							—	0.436
QQ11								—

(a)

Component	Eigenvalue	% of Variance	Cumulative %
1	4.026	50.32	50.3
2	0.936	11.70	62.0
3	0.791	9.88	71.9
4	0.678	8.47	80.4
5	0.532	6.65	87.0
6	0.469	5.86	92.9
7	0.308	3.85	96.7
8	0.261	3.27	100.0

(b)

	Component	
	1	Uniqueness
QQ4	0.667	0.555
QQ5	0.752	0.434
QQ6	0.735	0.459
QQ7	0.712	0.493
QQ8	0.780	0.392
QQ9	0.682	0.535
QQ10	0.726	0.472
QQ11	0.606	0.633

Note. 'varimax' rotation was used

(c)

<sup>119</sup> Inicialmente essa análise foi feita usando o software SPSS (*Statistical Package for the Social Sciences*) com a colaboração do prof. Fernando Lang da Silveria. Para a presente Tese, optamos por apresentar essa análise com o software Jamovi para nos atermos apenas a softwares livres (abertos e gratuitos). Dessa forma, ao longo deste capítulo foi feito um uso complementar dos softwares JASP e JAMOVI, uma vez que julgamos que cada um deles apresenta vantagens e desvantagens para determinado tipo de análise.

A Tabela 6.10a apresenta a matriz de correlação entre os itens, lembrando que na diagonal todos os valores possuem valores unitários, uma vez que a correlação de cada item consigo mesmo é igual a 1. A Tabela 6.10b apresenta os autovalores de cada item junto com a variância total explicitada por aquele item. A literatura sugere que na escolha do número de fatores extraídos na análise fatorial, deve-se manter apenas fatores com autovalor maior que 1 (um) (Figueiredo & Silva, 2010). Conforme indicado na Tabela 6.10b o método das componentes principais revelou a existência de um único autovalor superior a um, que explica 50,3% da variância dos dados. Ao mesmo tempo, a Tabela 6.10c indica que apenas um fator foi extraído, cuja carga fatorial de todos os itens com respeito a esse fator é superior a 0.6. Com isso, podemos concluir que existe um único fator (traço latente) presente nos oito itens do questionário. Com base na análise de conteúdo dos itens do questionário, pode-se interpretar esse traço latente como sendo a existência do “aquecimento global antropogênico (AGA)”.

Uma vez que a análise fatorial indicou a presença de um único fator no conjunto das oito variáveis, podemos agora proceder para a análise de consistência interna dos oito itens Q4 a Q11. Lembrando que a análise de consistência interna fornece uma estimativa da fidedignidade ou confiabilidade de um teste, ou seja, a capacidade de medir sem erros aquilo que ele se propõe a medir (Pasquali, 2013). Para a análise de consistência interna (ou estimativa da fidedignidade do teste) foi empregado o método do cálculo do coeficiente *alfa de Cronbach*. Os valores do coeficiente alfa de Cronbach podem variar entre 0 a 1, sendo que valores aceitáveis em pesquisa educacional, sugeridos pela literatura, variam de 0.7 a 0.95 (Tavakol & Dennick, 2011). Junto com o cálculo do alfa de Cronbach, também apresentamos os cálculos dos coeficientes de correlação de cada item com o escore total do restante dos itens (*item-rest*), bem como o cálculo do valor do alfa de Cronbach para o caso em que determinado item é excluído do teste. Analisando as correlações podemos verificar a necessidade de eliminar ou não algum item do teste. Os resultados da análise de consistência interna são apresentados na Tabela 6.11.

**Tabela 6.11:** Análise de Consistência Interna. (a) Coeficiente alfa de Cronbach para Q4 a Q11. (b) Cálculo dos coeficientes de correlação do item com o restante dos itens (*item rest*) e alfa de Cronbach quando o item é excluído.

Scale Reliability Statistics	
Cronbach's $\alpha$	
scale	0.851

(a)

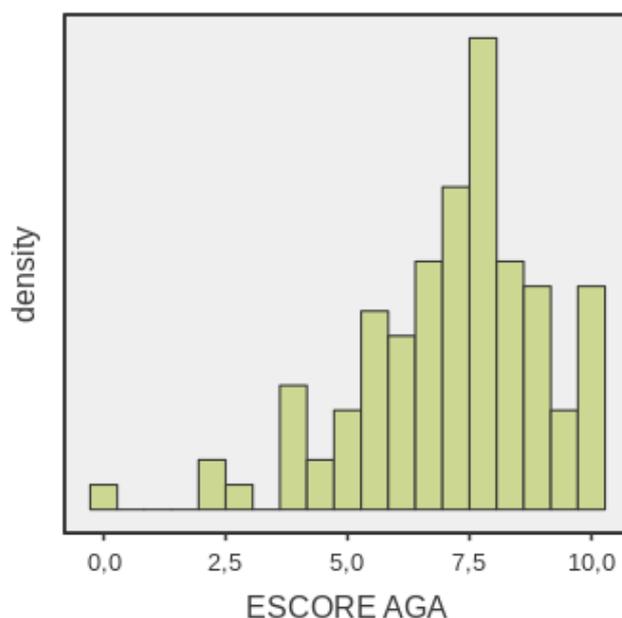
Item Reliability Statistics		
	item-rest correlation	if item dropped
		Cronbach's $\alpha$
QQ4	0.541	0.839
QQ5	0.647	0.828
QQ6	0.629	0.829
QQ7	0.616	0.829
QQ8	0.683	0.821
QQ9	0.555	0.837
QQ10	0.625	0.828
QQ11	0.496	0.851

(b)

Como podemos conferir na Tabela 6.11a, o cálculo do alfa de Cronbach resultou no valor 0.851 para os oito itens do questionário. Este é um valor que atende ao que é requerido como aceitável pela literatura. Vemos, também, pela Tabela 6.11b que o cálculo dos coeficientes de correlação *item-rest* e do alfa de Cronbach (se eliminado um item), indicam que não há necessidade de eliminar algum item do questionário, pois tal eliminação não resulta em aumento no valor do coeficiente alfa. Vemos, assim, que os oito itens da escala *likert* podem ser mantidos para compor a escala e que estes medem um único construto (traço latente) que interpretamos como sendo o “aquecimento global antropogênico (AGA)”.

Com isso efetivamos a validação de conteúdo e de construto (traço latente) do questionário no que tange aos oito itens do tipo *likert*. A escala *likert* do questionário demonstra ser adequada como instrumento de medida para averiguar a crença ou opinião do respondente quanto ao *aquecimento global antropogênico (AGA)*. Para finalizar, podemos resumir o resultado da aplicação do instrumento de medida aos 104 respondentes num histograma que expressa o escore AGA, conforme o Gráfico 6.1. O *escore AGA* consiste

numa variável que foi criada para expressar a média dos escores dos itens e Q4 a Q11. Assim, para cada um dos 104 respondentes é atribuído um escore AGA<sup>120</sup>, onde um valor maior que cinco (5) para o escore AGA indica concordância com o aquecimento global antropogênico.



**Gráfico 6.1:** Histograma das respostas para o escore AGA.

Como podemos perceber no Gráfico 6.1, o resultado da aplicação do instrumento de medida indica uma concordância majoritária dos respondentes com a existência do aquecimento global antropogênico. Contudo, considera-se que, ao avaliar esse resultado, seja importante não perder de vista as peculiaridades observadas anteriormente com relação as questões Q7 e Q11, que indicam consideráveis incertezas entre os respondentes frente a questão da *variabilidade natural* do clima e a questão do *consenso científico*.

#### **6.4 Análise da Variância: comparando médias entre os grupos de respondentes**

Nesta etapa da análise nos dedicamos a investigar a relação das diversas variáveis obtidas no questionário com o escore AGA. Uma das maneiras de fazer essa investigação é comparando as médias no escore AGA, obtidas por cada grupo de respondentes. Para realizar

---

<sup>120</sup> Lembrando que a criação da variável “escore AGA” se justifica uma vez que a escala *likert* de oito itens mede um único traço latente, a saber, o *aquecimento global antropogênico (AGA)*.

essa análise empregamos a técnica estatística conhecida como “análise da variância” (ANOVA) que é destinada a comparar médias entre grupos. Numa análise de variância (ANOVA), deve-se prestar atenção para a estatística F e a significância estatística (p). A estatística F consiste em dividir a variância entre os grupos pela variância dentro dos grupos. Assim, para que exista diferença entre as médias dos grupos, deve-se obter valores de F superiores a 1 (um). Contudo, para que a diferença entre os grupos seja significativa (não ocorrida ao acaso), devemos ter valores de significância estatística menores que 0,05 ( $p < 0,05$ ). Para complementar, na análise que segue, apresentamos também o cálculo do coeficiente “eta ao quadrado” ( $\eta^2$ ). Este é um indicativo do tamanho do efeito, ou seja, informa a percentagem da variância de AGA que é explicada pelas variáveis.

A primeira parte da análise da variância será dedicada ao estudo das variáveis que compõe o perfil do respondente como a *idade, formação, nível de ensino em que leciona, tipo de instituição em que leciona e tempo de docência*. A segunda parte da análise de variância compara os escores médios dos grupos de respondentes pertencentes a cada categoria construída para as questões abertas Q1, Q2, Q3 e Q15 durante a análise de conteúdo. Por fim, procederemos para a comparação entre os escores médios dos grupos formados por cada alternativa de respostas para as questões Q12, Q13 e Q14.

#### 6.4.1 Análise da variância para o perfil do respondente

Apresentaremos na sequência os resultados da análise da variância no que tange ao escore AGA para o perfil do respondente incluindo: (1) *idade*; (2) *formação*; (3) *nível de ensino em que leciona*; (3) *tipo de instituição em que leciona* e (4) *tempo de docência*.

**Tabela 6.12:** Análise da variância para a variável *idade*. (a) média no escore AGA por grupo. (b) análise da variância (ANOVA).

1. Idade?	Mean	SD	N
Até 25 anos	7.412	1.696	24
Entre 25 e 35 anos	7.568	1.950	31
Entre 35 e 45 anos	7.042	1.974	26
Acima de 45 anos	6.500	1.900	23

(a)

ANOVA - ESCORE AGA

Cases	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p	$\eta^2$
1. Idade?	17.06	3	5.687	1.592	0.196	0.046
Residual	357.12	100	3.571			

Note. Type III Sum of Squares

(b)

**Tabela 6.13:** Análise da variância para a variável *formação*. (a) média no escore AGA por grupo. (b) análise da variância (ANOVA).

2. Qual a sua formação?	Mean	SD	N
Graduação em Física com Pós-Graduação.	7.173	1.967	40
Graduação em Licenciatura em Física.	6.833	1.361	12
Cursando Licenciatura em Física.	7.072	2.124	39
Outras áreas (Geo, Qui, Bio, Mat, Eng)	7.723	1.464	13

(a)

ANOVA - ESCORE AGA

Cases	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p	$\eta^2$
2. Qual a sua formação?	5.710	3	1.903	0.517	0.672	0.015
Residual	368.468	100	3.685			

Note. Type III Sum of Squares

(b)

**Tabela 6.14:** Análise da variância para a variável *nível de ensino*. (a) média no escore AGA por grupo. (b) análise da variância (ANOVA).

3. Lecionas em qual nível de ensino?	Mean	SD	N
Superior	7.305	1.988	19
Médio	7.082	1.742	51
Fundamental	7.567	0.493	3
Não leciona	7.174	2.233	31

(a)

ANOVA - ESCORE AGA

Cases	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p	$\eta^2$
3. Lecionas em qual nível de ensino?	1.209	3	0.403	0.108	0.955	0.003
Residual	372.970	100	3.730			

Note. Type III Sum of Squares

(b)

**Tabela 6.15:** Análise da variância para a variável *tipo de instituição*. (a) média no escore AGA por grupo. (b) análise da variância (ANOVA).

4. Lecionas em instituição?	Mean	SD	N
Privada	7.095	1.659	19
Pública	7.172	1.844	53
Não leciona	7.283	2.223	30

(a)

ANOVA - ESCORE AGA ▼

Cases	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p	$\eta^2$
4. Lecionas em instituição?	0.452	2	0.226	0.060	0.941	0.001
Residual	369.799	99	3.735			

Note. Type III Sum of Squares

(b)

**Tabela 6.16:** Análise da variância para a variável *tempo de docência*. (a) média no escore AGA por grupo. (b) análise da variância (ANOVA).

5. Há quanto tempo exerce a docência?	Mean	SD	N
Até 5 anos.	7.259	1.662	22
Entre 5 e 10 anos.	7.594	2.017	16
Entre 10 e 15 anos.	7.143	1.104	7
Entre 15 e 25 anos.	6.290	1.892	21
Acima de 25 anos.	7.591	1.087	11
Não exerce	7.344	2.340	27

(a)

ANOVA - ESCORE AGA ▼

Cases	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p	$\eta^2$
5. Há quanto tempo exerce a docência?	22.06	5	4.413	1.228	0.302	0.059
Residual	352.11	98	3.593			

Note. Type III Sum of Squares

(b)

Como demonstram as análises das Tabelas 6.12 a 6.16, as variáveis que compõem o perfil do respondente (*idade, formação, nível de ensino em que leciona, tipo de instituição em que leciona e tempo de docência*) não apresentaram relação estatisticamente significativa com

o escore AGA. As médias de AGA através dos diversos grupos de respondentes de cada variável são semelhantes. O coeficiente “eta ao quadrado” que informa a percentagem da variância de AGA explicada, resultou ser baixo e, desse modo, sem significância estatística para cada uma das variáveis de identificação.

#### 6.4.2 Análise da variância para as categorias das questões Q1, Q2 e Q15

Apresentamos agora a análise da variância para os grupos de respondentes em cada categoria construída através da análise de conteúdo das questões abertas Q1, Q2 e Q15. Vale notar que para a questão aberta Q3 não cabe realizar essa análise. Os resultados da análise das demais questões são apresentados na sequência conforme as Tabelas 6.17 a 6.19.

**Tabela 6.17:** Análise da variância para as categorias de Q1. (a) média no escore AGA por grupo. (b) análise da variância (ANOVA).

Categorias Q1	Mean	SD	N
A. Infravermelho e Gases (correta)	8.042	1.311	19
B. Retenção de Calor e IV (parcialmente correta)	7.981	1.114	16
C. Reflexão/Absorção Solar (alternativa)	6.878	1.774	18
D. Poluição e AG (alternativa)	6.254	3.107	13
E. Ozônio e UV (alternativa)	6.850	1.849	6
F. Subdesenvolvida	6.825	1.763	32

(a)

ANOVA - ESCORE AGA

Cases	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p	$\eta^2$
Categorias Q1	41.85	5	8.370	2.468	0.038	0.112
Residual	332.33	98	3.391			

Note. Type III Sum of Squares

(b)

**Tabela 6.18:** Análise da variância para as categorias de Q2. (a) média no escore AGA por grupo. (b) análise da variância (ANOVA).

Categorias Q2	Mean	SD	N
A. Temperatura e Efeito Estufa (correta)	7.941	1.404	27
B. Temperatura e/ou Consequências (parcialmente correta)	7.962	1.244	21
C. Temper e Poluição (parcialmente correta)	7.567	1.246	21
D. Fenômeno Natural ou Controverso (alternativa)	4.689	1.915	19
E. Subdesenvolvida	7.219	1.742	16

(a)

ANOVA - ESCORE AGA

Cases	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p	$\eta^2$
Categorias Q2	149.5	4	37.364	16.46	< .001	0.399
Residual	224.7	99	2.270			

Note. Type III Sum of Squares

(b)

**Tabela 6.19:** Análise da variância para as categorias de Q15. (a) média no escore AGA por grupo. (b) análise da variância (ANOVA).

Categorias Q15	Mean	SD	N
A. Empírica	6.089	2.343	19
B. Teórica e Empírica	7.900	1.737	11
C. Social	7.867	1.280	18
D. Teórica, Empírica e Social	7.315	2.290	13
E. Não especificou	7.112	1.671	43

(a)

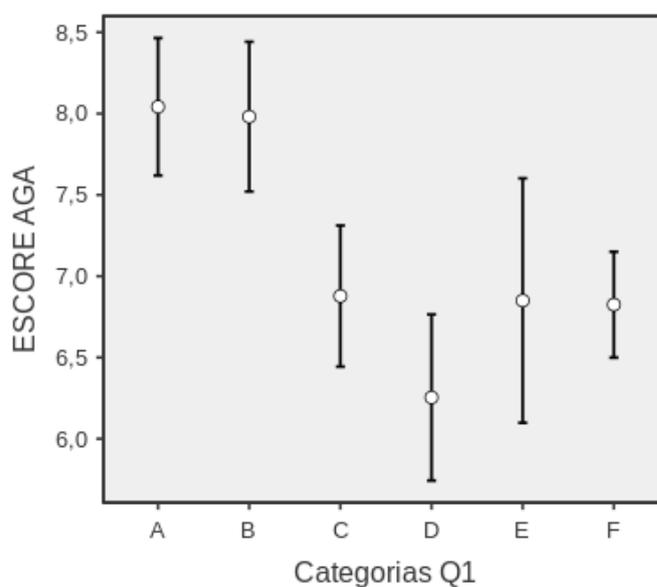
ANOVA - ESCORE AGA

Cases	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p	$\eta^2$
Categorias Q15	37.20	4	9.300	2.732	0.033	0.099
Residual	336.98	99	3.404			

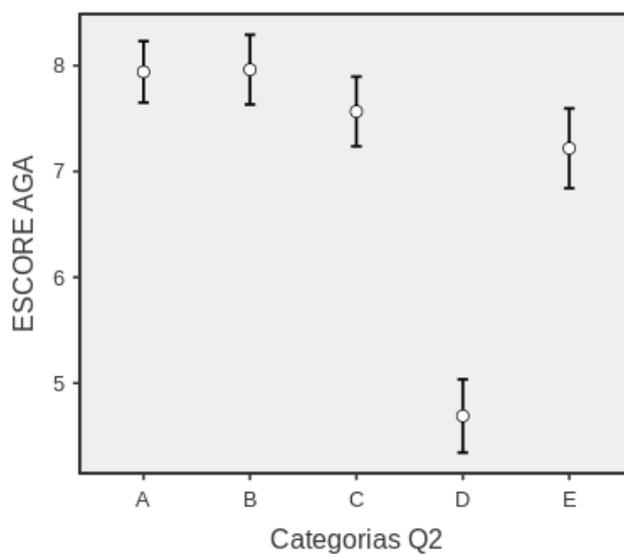
Note. Type III Sum of Squares

(b)

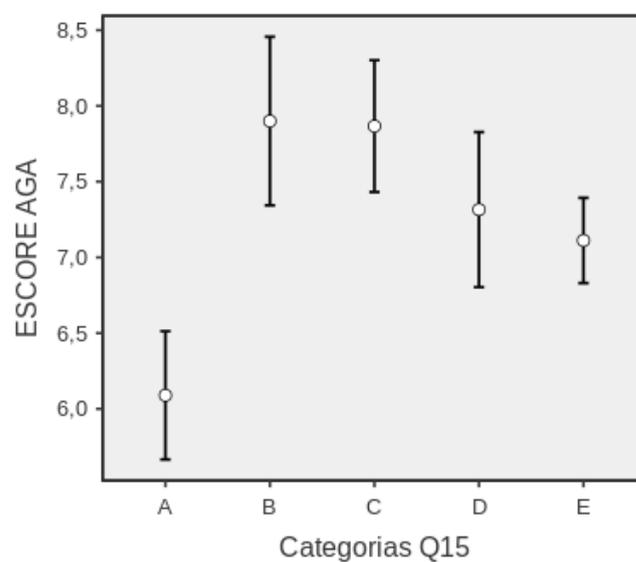
As Tabelas 6.17a, 6.18a e 6.19a descrevem as médias e desvios padrão no Escore AGA de cada grupo de categorias. Como demonstram as análises das Tabelas 6.17b, 6.18b e 6.19b as categorias formuladas nas questões Q1, Q2 e Q15, através da análise de conteúdo (Bardin, 2004), apresentaram relação estatisticamente significativa ( $p < 0,05$ ) com o escore AGA, indicando diferenças entre as médias de AGA através dos grupos de respondentes que compõe as categorias. Em ambas as questões a estatística F é superior a 1 (um), com valor expressivo para Q2, onde a variância entre os grupos é 16 vezes maior que a variância dentro dos grupos. O coeficiente “eta ao quadrado” ( $\eta^2$ ), tamanho do efeito, resultou ser 11% para Q1, 39% para Q2 e 9% para a questão Q15. Vemos, assim, que existem diferenças significativas entre as médias dos grupos das três questões. Para complementar as informações das tabelas, e poder visualizar em quais categorias as médias são maiores/menores, apresentamos na sequência os gráficos de barra de erro para cada questão, onde o erro ou incerteza na média se estende por um desvio padrão.



**Gráfico 6.2:** Gráfico de barra de erro para os escores AGA das categorias de Q1. Onde no eixo das abscissas A, B, C, D, E, F são respectivamente as categorias da Tabela 6.17a.



**Gráfico 6.3:** Gráfico de barra de erro para os escores AGA das categorias de Q2. Onde no eixo das abscissas A, B, C, D, E são respectivamente as categorias da Tabela 6.18a.



**Gráfico 6.4:** Gráfico de barra de erro para os escores AGA das categorias de Q15. Onde no eixo das abscissas A, B, C, D, E são respectivamente as categorias da Tabela 6.19a

A partir do Gráfico 6.2, podemos notar que na questão Q1 as categorias “Infravermelho e Gases” e “Retenção de calor” exibem a maior média no escore AGA, diferenciando-se dos demais grupos. Na medida em que estas categorias foram classificadas como “corretas” e “parcialmente corretas”, pode-se observar que uma maior compreensão do fenômeno do efeito estufa está associada a um escore AGA mais alto. No Gráfico 6.3 que descreve a questão Q2, pode-se notar que a diferença significativa ocorre com respeito a categoria “Natural ou Controverso”. Assim, respondentes classificados nesta categoria possuem, de forma coerente, um escore AGA mais baixo. Por fim, O Gráfico 6.4 evidencia que na questão Q15 o grupo da categoria “empírica” se destaca dos demais exibindo a menor média no escore AGA.

#### 6.4.2 Análise da variância para as questões Q12, Q13, Q14

Por fim, apresentamos os resultados da análise da variância no que tange ao escore AGA para os grupos de respostas para cada alternativa das questões Q12, Q13 e Q14. Os resultados da análise das demais questões são apresentados na sequência conforme as Tabelas 6.20 a 6.22.

**Tabela 6.20:** Análise da variância para as categorias de Q12. (a) média no escore AGA por grupo. (b) análise da variância (ANOVA).

Descriptives - ESCORE AGA			
Q12	Mean	SD	N
A. Clima é estável dentro de certos limites.	6.734	1.758	44
B. Clima possui um equilíbrio delicado.	7.935	1.436	37
C. Clima muda de forma lenta e gradual.	7.215	1.889	20

(a)

ANOVA - ESCORE AGA ▼						
Cases	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p	$\eta^2$
Q12	29.07	2	14.533	5.183	0.007	0.096
Residual	274.79	98	2.804			

Note. Type III Sum of Squares

(b)

**Tabela 6.21:** Análise da variância para as categorias de Q13. (a) média no escore AGA por grupo. (b) análise da variância (ANOVA).

Descriptives - ESCORE AGA

Q13.	Mean	SD	N
A. É uma área de pesquisa ainda em fase de consolidação (sem AGA).	4.836	2.079	14
B. É uma área de pesquisa historicamente consolidada (com AGA).	8.683	1.125	12
C. É uma área de pesquisa complexa com muitas incertezas envolvidas (sem AGA).	5.327	1.917	11
D. É uma área de pesquisa complexa com muitas incertezas envolvidas (com AGA).	7.681	1.284	67

(a)

ANOVA - ESCORE AGA

Cases	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p	$\eta^2$
Q13.	158.6	3	52.861	24.52	< .001	0.424
Residual	215.6	100	2.156			

Note. Type III Sum of Squares

(b)

**Tabela 6.22:** Análise da variância para as categorias de Q14. (a) média no escore AGA por grupo. (b) análise da variância (ANOVA).

Descriptives - ESCORE AGA

Q14.	Mean	SD	N
A. Conhecimento científico é falível: empiricamente corroborado.	7.189	2.375	35
B. Conhecimento científico é infalível: empiricamente comprovado.	7.300	0.985	3
C. Conhecimento científico é falível: construído socialmente.	7.082	1.730	55
D. Conhecimento científico é arbitrário: determinado por fatores sociais.	7.464	1.318	11

(a)

ANOVA - ESCORE AGA

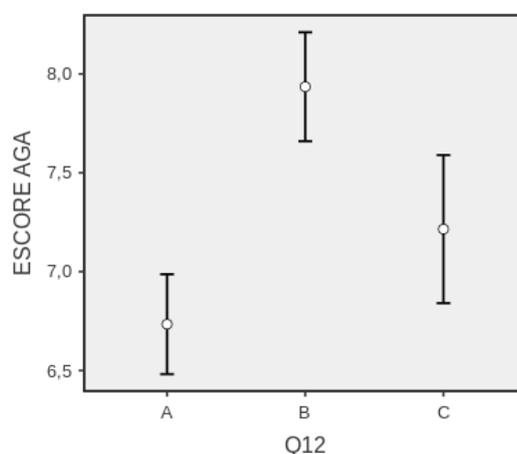
Cases	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p	$\eta^2$
Q14.	1.436	3	0.479	0.128	0.943	0.004
Residual	372.743	100	3.727			

Note. Type III Sum of Squares

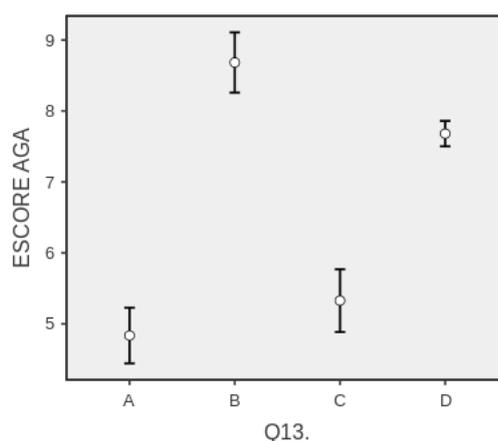
(b)

As Tabelas 6.20a, 6.21a e 6.22a descrevem as médias e desvios padrão no Escore AGA de cada grupo de categorias. Podemos observar a partir das Tabelas 6.20b, 6.21b e 6.22b que o escore AGA apresentou relação estatisticamente significativa ( $p < 0,05$ ) com as

respostas dadas nas questões Q12 e Q13, bem como valores de F e “eta ao quadrado” aceitáveis. Nota-se que apesar de existirem diferenças estatisticamente significativas entre as médias de AGA para as duas questões Q12 e Q13, elas são maiores para a questão Q13, para a qual o coeficiente “eta ao quadrado” resultou em 42%. Por sua vez, quanto a questão Q14, que identifica a concepção de conhecimento científico manifestada pelo respondente, pode-se perceber que não há diferenças estatisticamente significativas entre os grupos. Novamente, além das Tabelas 6.20 e 6.21, para poder visualizar em quais categorias as médias são maiores/menores, apresentamos na sequência os gráficos de barra de erro para as questões Q12 e Q13, onde o erro ou incerteza na média se estende por um desvio padrão.



**Gráfico 6.5:** Gráfico de barra de erro para os escores AGA das categorias de Q12. Onde no eixo das abscissas A, B, C são respectivamente as categorias da Tabela 6.20a.



**Gráfico 6.6:** Gráfico de barra de erro para os escores AGA das categorias de Q13. Onde no eixo das abscissas A, B, C, D são respectivamente as categorias da Tabela 6.21a.

Podemos observar que o Gráfico 6.5 indica que em Q12 o grupo “B - O clima da Terra possui um equilíbrio delicado” apresenta a maior média no escore AGA destacando-se dos demais grupos de respondentes. No Gráfico 6.5 da questão Q13 observa-se que a diferença de maior destaque com respeito ao grupo B, ou seja, aqueles que consideram que a ciência climática é uma área de pesquisa historicamente consolidada exibem o maior escore AGA. Ao mesmo tempo, verificamos uma leve tendência ao ceticismo por parte daqueles que consideram a ciência climática ainda em consolidação (grupo A), ou mesmo, em “fase pré paradigmática” no dizer de Kuhn.

## 6.5 Considerações gerais sobre o Estudo 2

Como descrito inicialmente, o presente estudo buscou responder a questão de pesquisa: *quais as opiniões e entendimentos de licenciandos(as) e licenciados(as) em Física sobre temas como efeito estufa, aquecimento global e/ou mudanças climáticas?* A partir dos resultados obtidos na análise realizada, consideramos que a aplicação do questionário forneceu importantes elementos para responder a esta questão.

Em primeiro lugar, os resultados obtidos com a análise de conteúdo das questões abertas, especialmente às questões Q1 e Q2, lançaram luz sobre as concepções e entendimentos de professores formados e em formação sobre a explicação dos fenômenos do efeito estufa e aquecimento global, onde foi possível identificar lacunas conceituais e explicações alternativas.

Com respeito ao fenômeno do efeito estufa, evidenciou-se uma forte lacuna relativa aos processos de interação da radiação eletromagnética (visível, infravermelho, etc.) com a atmosfera terrestre, demonstrando a necessidade de um maior enfoque por parte dos cursos de formação de professores no desenvolvimento desses conceitos e conteúdos. A mesma observação é válida para o fenômeno do aquecimento global, cujas causas demonstram ser pouco compreendidas, havendo confusão conceitual entre aquecimento global e outros problemas ambientais como o buraco do ozônio e a poluição atmosférica em geral.

Com respeito à formulação e validade de conteúdo das questões Q1 e Q2 cabe, também, uma observação. A partir das respostas obtidas, pode-se constatar que a questão Q1

demonstrou estar melhor formulada do que a questão Q2. Possivelmente, as “sub-perguntas” presentes na questão Q2 podem ter exigido uma maior articulação por parte do respondente, dificultando uma resposta objetiva e direcionada. Assim, para pesquisas futuras, seria importante reformular a questão Q2, a exemplo da simplicidade da questão Q1.

De modo similar, com respeito às questões abertas Q3 e Q15, apesar de fornecerem alguns resultados interessantes, considera-se que estas questões mereceriam uma revisão. Em especial, a questão Q15 exigiu uma considerável articulação por parte do respondente para coordenar as sub-perguntas que compõem a questão, dificultando a obtenção de respostas objetivas.

Voltando-nos para a escala *likert*, composta pelos oito itens *likert*, o presente estudo efetivou a sua validade de conteúdo e de construto, demonstrando que o instrumento é apropriado para avaliar a concordância/discordância do respondente quanto à existência do “aquecimento global antropogênico” (construto medido), obtendo-se um coeficiente *alfa de Cronbach* de 0.85.

Além disso, com respeito à questão de pesquisa, a aplicação do instrumento de medida (questionário) indica que existe uma concordância majoritária entre os respondentes quanto a realidade do aquecimento global antropogênico (Score AGA do Gráfico 6.1). Contudo, é importante observar que com relação à existência de uma controvérsia científica (questão Q11), 49% das respostas estão entre os níveis de confiança 6-10, ou seja, concordam que existe uma controvérsia científica.

Com respeito às questões fechadas Q12, Q13 e Q14 pode-se observar que estas não ofereceram muitos elementos para a análise. Em particular, a expectativa inicial, de que a concepção epistemológica do respondente poderia influenciar a crença no aquecimento global antropogênico não se confirmou, conforme o resultado obtido na questão Q14.

Neste sentido, para pesquisas futuras, pode-se vislumbrar reformulações no questionário com diferentes combinações de questões. Por exemplo, atendo-se apenas às questões Q1 e Q2 (reformulada), em conjunto com os oito itens do tipo *likert*. Dessa maneira, obteríamos um questionário mais curto e, portanto, de mais fácil instrumentalização, especialmente, quando consideramos a necessária boa vontade dos respondentes em colaborar na pesquisa.

## **7. ESTUDO 3: ESTUDO DE CASO – UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA NA FORMAÇÃO DE PROFESSORES DE FÍSICA PARA TRATAR DA TEMÁTICA DO AQUECIMENTO GLOBAL**

Neste capítulo apresentamos a descrição e análise dos resultados obtidos com um estudo de caso realizado com futuros professores de Física. Este estudo teve por objetivo aplicar e avaliar os resultados de uma abordagem de ensino voltada para a temática do aquecimento global junto a uma turma de licenciatura em Física. Neste sentido, a investigação esteve norteada pelas seguintes questões de pesquisa: *Quais os resultados de uma proposta pedagógica com ênfase na dimensão epistemológica, científica e histórica da temática do aquecimento global em uma turma de licenciatura em Física? Quais os discursos de licenciandos em Física sobre a ciência do aquecimento global no contexto das polêmicas envolvendo os cientistas céticos do clima?*

O estudo, como anunciado, foi desenvolvido junto a uma turma de alunos do curso de licenciatura em Física na disciplina de História da Física e Epistemologia, no primeiro semestre letivo de 2018. A turma era composta de onze alunos do sétimo semestre do curso de licenciatura, entre os quais quatro alunas do sexo feminino e sete alunos do sexo masculino, com idades variadas entre vinte a trinta anos. É importante notar que os alunos nesta etapa do curso haviam concluído a maioria das disciplinas que envolvem conteúdos específicos de Física, especialmente, os conteúdos tratados nas disciplinas de física geral como mecânica, termodinâmica, eletromagnetismo e física moderna. A intervenção consistiu na aplicação de um módulo de ensino, ou sequência didática, que teve duração de quatro encontros<sup>121</sup> de dois períodos aula, ou seja, cada encontro era constituído de dois períodos de 50 min. Os encontros foram realizados semanalmente completando, ao total, quatro semanas de aula durante os meses de junho e julho de 2018.

Durante a sequência didática foram desenvolvidas atividades variadas, envolvendo exposição oral, exibição de vídeos, leitura de textos e dinâmicas de construção de argumentos em grupo. Entre os principais tópicos abordados nos encontros elencamos:

---

<sup>121</sup> De fato, foi realizado um quinto encontro adicional, mas que consistiu apenas de uma exposição oral do pesquisador sobre a sua pesquisa de doutorado. Neste sentido, este quinto encontro não constará na presente análise.

os aspectos epistemológicos da ciência (como a dimensão social da ciência e a natureza das controvérsias científicas), os conceitos da física básica do efeito estufa, a história da ciência do clima e os argumentos dos denominados céticos do clima. Como instrumentos de coleta de dados foram aplicados dois testes (Apêndices C e D), um pré-teste antes do início do módulo e um pós-teste no final do mesmo. Além disso, foi feita a gravação em áudio de todos os encontros.

### **7.1 Descrição dos Encontros**

Esta seção descreve os encontros e dos materiais (textos, vídeos) utilizados na intervenção didática. Faremos isto apresentando a sequência dos encontros, detalhando os conteúdos desenvolvidos em cada um, lembrando que, antes de iniciar o primeiro encontro, foi enviado para cada um dos alunos da disciplina, via e-mail, o pré-teste constante no Apêndice C.

#### *Encontro I: Apresentação da Temática do Aquecimento Global*

Seguindo a recomendação da abordagem de ensino e aprendizagem de questões sociocientíficas discutida no Referencial Teórico, o módulo iniciou com a apresentação da questão sociocientífica, a saber, a temática do aquecimento global. Assim, com auxílio de projetor de slides, foi feita uma apresentação sobre a natureza das questões sociocientíficas e, particularmente, a natureza da questão sociocientífica do aquecimento global. Desta forma, problematizou-se o porquê da temática do aquecimento global constituir uma questão sociocientífica (veja-se Capítulo 4 – Referencial Teórico). Em seguida foi destacada a natureza interdisciplinar da temática, que envolve diversas áreas das ciências naturais como: climatologia, geologia, glaciologia, meteorologia, oceanografia, biologia, química, física atmosférica etc., bem como algumas das questões mais debatidas por cientistas como a variabilidade natural do clima, a previsibilidade do clima e, principalmente, sua suscetibilidade à ação humana. A partir disso, foi chamada a atenção

para a importância de distinguir entre diferentes tipos de questões e/ou diferentes tipos de controvérsias que podem surgir sobre aquecimento global e/ou mudanças climáticas: (1) A questão da causa do Aquecimento Global (se o aquecimento global é natural ou antropogênico); (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.

Finalmente, foi apresentada a questão chave, relacionada à questão (1), e que passaria a ser o fio condutor dos encontros: “existe uma controvérsia científica sobre a questão 1?” ou, em outras palavras: “existe uma controvérsia científica em curso sobre a causa antropogênica do aquecimento global?”.

Com vimos no Estudo Teórico do Capítulo 5, existe forte evidência de que não há uma controvérsia científica legítima em curso a esse respeito. Neste sentido, a proposta foi investigar como os alunos da licenciatura, futuros professores de Física, interpretavam os desacordos entre os cientistas. Lembrando aqui que a pergunta sobre a existência ou não de uma controvérsia científica sobre a questão (1) foi justamente a pergunta enviada por e-mail aos sujeitos de pesquisa no pré-teste.

Neste sentido, o módulo teve por enfoque o debate entre os cientistas da visão consensual e os céticos. Como estratégia para apresentar o debate, optamos pela exibição de dois vídeos que apresentam posições divergentes sobre o tema.

O primeiro vídeo apresentado foi o do IPCC, com duração de 9 minutos, que apresenta os resultados obtidos no Quinto Relatório (AR5) de 2013, intitulado “Mudança Climática 2013: Evidências da Ciência Física<sup>122</sup>”. Além do vídeo, foi também apresentada uma das conclusões do relatório onde lemos:

O aquecimento do sistema climático é inequívoco, desde a década de 1950 muitas das mudanças observadas não possuem precedentes ao longo de décadas há milênios. A atmosfera e os oceanos aqueceram, as quantidades de neve e gelo diminuíram, o nível do mar aumentou e as concentrações de gases de efeito de estufa aumentaram (IPCC, 2013).

---

<sup>122</sup> Versão em inglês: <https://www.youtube.com/watch?v=6yiTZm0y1YA>. Observamos que foi exibida uma versão do vídeo com legendas em português.

Após a apresentação do vídeo do IPCC, foi então apresentado um segundo vídeo que exhibe a posição dos céticos do clima, intitulado "A grande farsa do aquecimento global"; exibimos os primeiros 6 minutos que tratam da apresentação de algumas das principais objeções céticas<sup>123</sup>.

Após a apresentação dos dois vídeos foi feito um diálogo com os alunos sobre as impressões que estes obtiveram dos vídeos (essa discussão é apresentada na seção 7.2.1). Nesse diálogo, também foram feitos questionamentos aos alunos sobre o que eles compreendiam por "controvérsia científica".

Por fim, após esse momento de debate dos vídeos, a última etapa do encontro envolveu uma apresentação de slides voltada para a epistemologia da controvérsia científica, buscando fornecer um aporte teórico para o licenciando poder se posicionar frente o debate entre os cientistas e os céticos. Além da apresentação de slides, a discussão sobre a natureza das controvérsias científicas envolveu também a leitura e discussão do texto (Apêndice E) fornecido aos alunos.

### *Encontro II: Física básica do efeito estufa e história da ciência do aquecimento global*

Tendo abordado a dimensão epistemológica da temática no primeiro encontro, no segundo encontro passamos a abordar tanto a dimensão da física (ciência) básica do efeito estufa, quanto a história da ciência do aquecimento global. Para tanto, utilizamos, novamente, a apresentação de slides, bem como os textos de apoio.

Para o tema da física básica do efeito estufa foram discutidos conceitos e tópicos como temperatura de equilíbrio (efetiva) dos planetas, gases de efeito estufa, espectro de emissão e absorção, composição química da atmosfera da Terra, balanço de energia, espectro de emissão da Terra, forçantes climáticas e intensificação do efeito estufa. Junto à apresentação de slides foi fornecido aos alunos o texto de apoio (Apêndice F), que é composto de partes do estudo teórico do Capítulo 5. Destacamos que este texto de apoio também incorpora um pequeno glossário de conceitos como: tempo, clima, aquecimento

---

<sup>123</sup> Disponível em [https://www.youtube.com/watch?v=ICE-J\\_nTgrM](https://www.youtube.com/watch?v=ICE-J_nTgrM).

global, mudança climática, gases de efeito estufa.

Com respeito à história da ciência, discutimos o desenvolvimento da ciência do aquecimento global, iniciando com o trabalho de Fourier sobre o conceito de temperatura planetária, passando por cientistas como Tyndall, Arrhenius e a teoria do dióxido de carbono das mudanças climáticas, Callendar, Gilbert Plass até a consolidação do IPCC. Novamente, além da apresentação de slides, foi entregue aos alunos e discutido um texto (Apêndice G), baseado no estudo teórico do Capítulo 5, que aborda a história da ciência do aquecimento global.

### *Encontro III: o ceticismo sobre aquecimento global antropogênico*

No terceiro encontro passamos a considerar os argumentos céticos. Para tanto, exibimos mais uma parte do filme “A grande farsa do aquecimento global”, agora até o minuto 34, ou seja, faixa em que são apresentados os diversos argumentos céticos, inclusive o principal argumento do filme, de que o Sol e não o CO<sub>2</sub> é a principal causa do aquecimento global.

Após a exibição do vídeo foi feita uma pequena discussão do mesmo buscando a manifestação dos licenciandos sobre a sua percepção do filme. Após essa discussão foi entregue aos estudantes um resumo (Apêndice J) dos principais argumentos céticos junto com as respostas a cada um desses argumentos, que podem ser encontradas no site *Skeptical Science* (<https://www.skepticalscience.com/>).

A etapa seguinte envolveu uma pequena exposição, com auxílio de slides, onde foi discutido o principal argumento do filme de que o Sol é a causa do aquecimento global, buscando fornecer uma resposta ao argumento cético com base na posição consensual dos cientistas. Nesse processo de apresentação do argumento cético, e de um contra-argumento ao mesmo, foi feito uso de um *scaffold* de argumentação desenvolvido para esse fim e entregue aos licenciandos (Apêndice I). Com isso, buscamos fornecer um *exemplar* aos alunos sobre como empregar o *scaffold* de argumentação para rebater determinado argumento.

Finalmente, foi feita uma proposta de atividade em grupo a ser realizada pelos professores em formação no próximo encontro, ou seja, distribuídos em duplas ou trios teriam a tarefa de escolher um argumento cético entre aqueles fornecidos (Apêndice J) e desenvolver um contra-argumento para a alegação cética.

Contudo, é importante ressaltar que foi dada liberdade para que os licenciandos decidissem se iriam desenvolver um contra-argumento que rebatesse o argumento cético ou, então, defender o argumento cético escolhido.

Assim, foram formados quatro grupos de alunos que escolheram os seguintes argumentos céticos: (1) *Emissões naturais de CO<sub>2</sub> são muito maiores que as emissões humanas, logo as emissões antropogênicas são desprezíveis;* (2) *Vapor d'água compõe 95% dos gases de efeito estufa, o CO<sub>2</sub> é irrelevante;* (3) *O efeito do CO<sub>2</sub> está saturado, entradas adicionais de CO<sub>2</sub> na atmosfera não têm grande impacto;* (4) *A temperatura sobe antes do CO<sub>2</sub>, logo o CO<sub>2</sub> não é a causa do aumento da temperatura* (todos estes argumentos dos céticos, e outros mais, estão apresentados no Apêndice J).

#### Encontro IV: Trabalho em grupo e atividade de argumentação

Finalmente no quarto encontro os grupos se reuniram para a realização da atividade de construção dos argumentos (ou contra-argumentos) e apresentação para o grande grupo. Na medida em que todos os materiais para a construção dos argumentos haviam sido fornecidos previamente no encontro anterior, os licenciandos tiveram um bom tempo para a preparação e execução das leituras prévias.

Durante o processo de construção dos argumentos em aula o pesquisador manteve contato próximo com os grupos, dialogando sobre algum ponto específico, sem, contudo, expressar a sua opinião sobre o tema. Para facilitar a organização dos grupos e o debate em torno da construção do argumento e contra-argumento, foi fornecido para cada grupo um pequeno quadro branco de dimensões 70 cm por 90 cm (veja seção 7.2), onde os alunos puderam escrever o argumento e contra-argumento com base no *scaffold* de argumentação fornecido (Apêndice I).

Finalmente, após concluída a etapa de preparação, cada grupo apresentou o seu argumento e contra-argumento para a turma. Após a apresentação dos grupos, os demais alunos da turma tiveram espaço e oportunidade de questionar os passos do argumento e a conclusão obtida por cada grupo.

## **7.2 Análise e resultados dos Encontros**

Passaremos agora a apresentar os resultados obtidos com o presente estudo de caso. Num primeiro momento, a Seção 7.2.1 descreve os resultados obtidos com o pré-teste aplicado antes do primeiro encontro. A análise das respostas do pré-teste nos fornece uma descrição primeira do que pensavam os licenciandos e quais as suas ideias e concepções prévias sobre o tema do aquecimento global. Em seguida, na Seção 7.2.2, passaremos a realizar uma descrição e análise das falas e argumentos escritos dos licenciandos durante os quatro encontros, lembrando que as falas são extratos da transcrição das gravações de áudio feitas durante os quatro encontros. Por fim, na Seção 7.2.3, apresentaremos os resultados do pós-teste, tecendo alguns comentários a partir da análise das repostas.

### ***7.2.1 Resultados do pré-teste***

Os questionários empregados no pré-teste e pós-teste são apresentados no Apêndice C e Apêndice D. Como pode ser constatado o pré-teste consiste em duas questões, uma questão aberta e uma questão fechada, ambas direcionadas para a existência ou não de uma controvérsia científica sobre aquecimento global. Ao final é deixado espaço para o aluno se manifestar caso este deseje. Vale notar que a questão Q2 é um item do tipo *likert* que consiste na mesma questão Q11, do questionário de Pesquisa de Opinião e Entendimentos (Apêndice A e Capítulo 6). Antecipamos que o questionário do pós-teste é exatamente igual ao questionário do pré-teste, porém com a adição de uma terceira questão (Q3), onde os alunos são indagados a comentar se consideram que sua opinião sobre o assunto teria mudado após a experiência de frequentar os encontros realizados.

Iniciemos apresentando as respostas às questões Q1 e Q2, respondidas por um total de oito (8) licenciandos da turma de 11 participantes. É importante notar que o questionário era anônimo, sem identificação do respondente, desse modo não será possível relacionar o respondente do pré-teste para possíveis comparações individuais com as falas dos encontros e as respostas no pós-teste<sup>124</sup>. Deve-se evitar, portanto, relacionar os números dos respondentes (R1, R2, etc.) do pré-teste com os números de cada licenciando apontados nas Seções 7.2.2 e 7.2.3. Feitas essas considerações, no que segue apresentamos na íntegra as respostas às questões Q1 e Q2 do pré-teste:

*Q1. Na sua opinião, existe uma controvérsia científica em curso sobre as causas do aquecimento global? Ou seja, sobre se o aquecimento global é de origem natural ou se é causado pela ação do homem? Por quê?"*

Existe um consenso amplo sobre a principal causa do aquecimento global ter origem em atividade humana. Mas, como em qualquer assunto científico, existem vozes dissonantes. Muito embora sejam uma minoria (menos de 5% pelo que andei lendo), talvez por motivos econômicos e políticos (minha opinião), acabam recebendo muito espaço na mídia, fazendo com que o grande público tenha a impressão de haver um amplo debate, dividido, no meio científico sobre isso, o que não é verdade. [R1]

O que se tem dúvida é se com ação humana pode-se reduzir os efeitos que o aquecimento global provoca. [R2]

Vejo que existem disputas entre grupos que atribuem relevância maior aos fatores antropogênicos e grupos que atribuem maior relevância aos fatores naturais para o aquecimento, sem contar segmentos da comunidade científica que negam a existência desse fenômeno. Assim, embora minha percepção seja de que o primeiro dos grupos seja dominante, acredito que haja uma controvérsia na comunidade científica. [R3]

Honestamente, existe sim uma controvérsia e é um assunto o qual professores (...) não ousam tentar explicar. Quando esses profissionais falam de aquecimento global, falam simplesmente do buraco na camada de ozônio, gases estufa e na culpa do ser humano nesse processo. No "mundo leigo" vejo que falta um debate em torno desse assunto, na imprensa brasileira não se vê (ou ouve) uma opinião contrária a essa visão do homem como agente causador. No mundo dito científico

---

<sup>124</sup> De fato, a não possibilidade de correlacionar as respostas no pré-teste e pós-teste resultou em algumas limitações para os resultados obtidos no presente estudo.

há discussões e artigos sobre o tema, porém não em forma de debate digamos assim, apenas trabalhos com pontos de vista refutando a visão contrária. Mas penso que isso acontece por conta da liberdade científica, o avançar da ciência (assim como na física de partículas) depende dessas controvérsias. É uma discussão que imagino amadurecer conforme o passar do tempo. [R4]

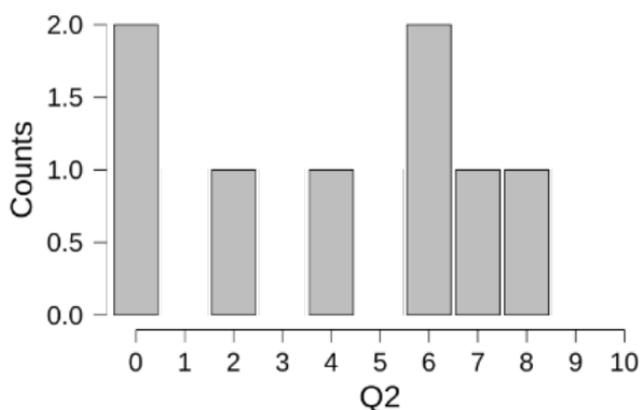
Há muita controvérsia nesse sentido. Muitos afirmam que a influencia solar é pequena enquanto outros falam que estamos entrando em uma era do gelo. mas não podemos deixar de lado os níveis de CO2 produzidos por nós mesmos que tem influenciado essa discussão a muito tempo. [R5]

Bem, nunca me aprofundi no assunto e tenho interesse em aprender mais; porém, me parece que existe sim uma controvérsia sobre a origem do Aquecimento global, apesar de eu não saber qual delas é mais predominante, eu acredito que no fim é uma junção das duas, a Terra naturalmente pode aumentar o efeito estufa como com a erupção de um vulcão, e a ação do homem com a queima de combustível por exemplo. [R6]

Eu acredito que existe a controvérsia científica, pois existem debates dentro da comunidade sobre a causa do aquecimento global. [R7]

Científica não, acredito que está muito claro para a comunidade que o aquecimento global existe e foi causado por ações humanas. Porém, ainda se ouve muito que o aquecimento não é real, ou que é natural, o que provém de desinformações e/ou achismos que se tornam verdades para alguns. [R8]

*Q2. A existência de um aquecimento global causado pela ação do homem é ainda uma matéria de ampla disputa na comunidade científica, não havendo consenso científico a respeito”.*



Um primeiro olhar sobre as respostas da questão Q1 revela que todos os licenciandos ao menos já ouviram ou leram alguma coisa sobre o tema. Ou seja, o tema do aquecimento global não constituía uma novidade absoluta para nenhum deles. A primeira resposta (R1) revela claramente que o licenciado já se debruçou sobre o tema, realizando leituras e pesquisas sobre o assunto, destacando não apenas o amplo consenso da comunidade científica, mas também a ação de determinados grupos financiados pela indústria dos combustíveis fósseis para criar uma controvérsia fabricada (veja-se seção 5.3.2). Ele, também, demonstra compreender que a existência de vozes discordantes é algo comum na ciência, mesmo com respeito às teorias amplamente estabelecidas e que isso não implica em uma controvérsia científica.

Na resposta R3 percebe-se que o aluno tem conhecimento do assunto ao fazer referência aos fatores antropogênicos e naturais envolvidos na explicação do aquecimento global. Contudo, embora tenda a considerar que a maioria dos cientistas concordam com o aquecimento global antropogênico, considera que as disputas existentes são suficientes para constituir uma controvérsia científica. Na resposta R4 vemos que o aluno percebe o tema como sendo complexo, ao mesmo tempo em que cita corretamente o fenômeno do efeito estufa, cita equivocadamente o problema do buraco do ozônio como relacionado ao tema. Ao mencionar o “mundo leigo e científico”, parece desconhecer que existem diversos céticos (cientistas contrários) com espaço na mídia e redes sociais no Brasil, bem como desconhecer a longa história da ciência do clima que exhibe riquíssimos debates científicos. Por sua vez, os respondentes R5 e R6 revelam que conhecem alguns temas comuns relacionados, citando possíveis fatores naturais que afetam o clima como o Sol, os vulcões, bem como a possibilidade das atividades humanas afetarem o clima, relacionando as atividades humanas com as emissões de CO<sub>2</sub>. Contudo, a percepção que eles têm das disputas existentes sobre o tema, os faz considerarem que existe uma controvérsia científica a respeito. O mesmo ocorre na resposta R7, embora mais sucinta, deixa claro que o licenciando percebe que há uma disputa entre cientistas, portanto considera que há uma controvérsia.

Neste sentido, percebe-se nas respostas a questão Q1 que as opiniões dos licenciandos sobre a existência ou não de uma controvérsia científica sobre aquecimento global são bastante variadas, havendo respostas que concordam com a existência de uma

controvérsia, bem como aquelas que discordam. Como também demonstram as resposta à questão Q2 (tipo *likert*), o nível de confiança no consenso/controvérsia varia de licenciando para licenciado, tendendo a ter quatro respondentes que consideram que existe uma controvérsia e quatro que tendem a apostar no consenso, entre os quais dois licenciandos apresentam-se muito convictos na rejeição da controvérsia.

Analisando em maior detalhe as respostas à questão Q1, o Quadro 7.1 busca resumir a percepção de controvérsia e consenso de cada licenciando, ou seja, concordância/discordância (forte, moderada, fraca e indefinida) sobre a existência de controvérsia quanto às causas do aquecimento global, onde a última coluna apresenta as passagens indicativas da “percepção de controvérsia/consenso” do respectivo respondente.

**Quadro 7.1:** Avaliação da percepção de controvérsia e consenso para cada respondente do pré-teste.

Respondente	Percepção de Controvérsia	Percepção de Consenso	Extratos das Respostas Escritas de Q1
R1	—	Forte	“Existe um consenso amplo sobre a principal causa do aquecimento global ter origem em atividade humana”.
R2	Indefinida	Indefinida	“O que se tem dúvida é se com ação humana pode-se reduzir os efeitos que o aquecimento global provoca”.
R3	Fraca	—	“(…) embora minha percepção seja de que o primeiro dos grupos seja dominante, acredito que haja uma controvérsia na comunidade científica”.
R4	Forte	—	“Honestamente, existe sim uma controvérsia e é um assunto o qual professores (...) não ousam tentar explicar”.
R5	Forte	—	“Há muita controvérsia nesse sentido”.
R6	Moderada	—	“(…) tenho interesse em aprender mais; porém, me parece que existe sim uma controvérsia sobre a origem do aquecimento global (...)”.
R7	Forte	—	“Eu acredito que existe a controvérsia científica, pois existem debates dentro da comunidade sobre a causa do aquecimento global”.
R8	—	Forte	“Científica não, acredito que está muito claro para a comunidade que o aquecimento global existe e foi causado por ações humanas.”

Comparando os dados do Quadro 7.1 com o Gráfico 7.1 pode-se observar algumas discrepâncias quanto ao número de respondentes que discordam da existência de controvérsia. Enquanto que o Gráfico 7.1 exibe quatro respostas para o lado do consenso, a análise das respostas da questão aberta Q1 permitiu identificar, apenas dois respondentes que atestam o consenso. Contudo, entre aqueles que opinam em favor da controvérsia, percebe-se graus variados no nível de percepção da controvérsia (forte, moderada e fraca), assim, é plenamente possível que algum desses respondentes tenha migrado para o lado do consenso na resposta à questão Q2. O mesmo pode ter ocorrido com respeito ao respondente R2 classificado como opinião “indefinida”. De fato, na resposta à questão Q2 do tipo *likert*, vemos que mesmo entre aqueles que aceitam a existência da controvérsia científica, percebe-se que estes não se localizam no nível de opinião mais forte (que poderíamos interpretar como sendo “extremamente forte”, ou seja, nível 10 = concordo fortemente da escala *likert*). Porém, os dois respondentes que rejeitam a controvérsia manifestam esse nível extremo de rejeição da controvérsia (0 = discordo fortemente).

De forma aproximada, assumiremos aqui que uma concordância forte encontra-se nos níveis 9 e 10 da escala *likert*, enquanto que uma concordância moderada nos níveis 7 e 8, e uma concordância fraca no nível 6. O mesmo pode valer para a discordância. Lembrando que o nível 5 equivale a “não concordo nem discordo”. Novamente, as diferenças observadas quanto ao nível de concordância/discordância da questão Q1 para a questão Q2 devem ser interpretadas como sendo resultado do entendimento subjetivo de cada respondente frente às respectivas questões abertas e fechadas (*likert*). Neste sentido, é preciso cautela nas associações entre os rótulos “forte” e “fraca” usados na tabela para cada resposta e os pontos assinalados na escala *likert* pelo respondente.

Com isso, temos uma visão geral sobre o posicionamento prévio de oito dos licenciandos que frequentaram os encontros da sequência didática sobre aquecimento global. Ou seja, pode-se perceber que existem opiniões bastante fortes para ambos os lados (consenso/controvérsia), bem como concepções diversificadas quanto a natureza do fenômeno do aquecimento global. Como discutido no referencial teórico, tais opiniões e concepções prévias tendem mediar o processo de aprendizagem e a interpretação de novas informações sobre o tema em questão.

### **7.2.2 Análise dos episódios de ensino: os Encontros**

No que segue faremos uma descrição de alguns dos principais momentos de discussão e debates que ocorreram durante os encontros gravados. Faremos isso numa ordem cronológica de acordo com a ordem dos encontros.

No primeiro encontro, após a exibição dos vídeos que apresentaram o debate entre os cientistas e os céticos, quando questionados sobre se já conheciam ou ouviram falar do IPCC, ao menos três licenciandos responderam que fora a primeira vez que ouviram falar do IPCC. Em seguida, após questionados sobre suas impressões a respeito dos vídeos, o Licenciando 1 comenta “o último vídeo transpareceu ser mais político do que o primeiro”. Ainda com respeito ao segundo vídeo, o dos céticos, o Licenciando 2 passa a fazer uma crítica ao argumento cético de que haveria uma conspiração para impedir o desenvolvimento dos países em desenvolvimento, que seriam proibidos de expandir-se economicamente, dada a necessidade de corte de emissões de gases de efeito estufa. A esse respeito o Licenciando 2 assim se posiciona:

[...] esse último argumento é completamente inválido, por que todas as propostas que tem nesse sentido afetam muito mais os países desenvolvidos do que os países em desenvolvimento, pois geralmente as metas de redução dos países em desenvolvimento estão colocadas muito abaixo da metas dos países desenvolvidos. (Licenciando 2)

Seguindo com o debate, o Licenciando 3 comenta “achei os dois vídeos bem dramáticos, imagens com gelo derretendo, estão acabando com o sonho africano, os dois bem dramáticos (...)”. Aqui ele faz alusão a imagens com gelo derretendo mostradas no primeiro vídeo (IPCC) e sobre o fim do sonho africano referido no segundo vídeo (céticos). Na sequência surge uma observação interessante do mesmo Licenciando 3 que exemplifica a sua percepção do debate entre cientistas e céticos. Ele fala:

[...] mas aí, tem uma coisa que eu não sabia, porque eu não sabia que tinha cientistas, quer dizer, não é que eu achava que era 100% que o aquecimento global era real, mas eu não achava que era um desconsenso tão grande, não achava que tivesse um vídeo desses, feito por pessoas importantes. (Aluno3)

Aqui é interessante notar que a referência a “pessoas importantes” diz respeito aos cientistas céticos; muitos deles são professores de universidades americanas, que aparecem no vídeo. Em suma, percebe-se claramente o impacto que o vídeo gerou na opinião do aluno frente ao tema. Seguindo a ordem de manifestações o Licenciando 4 comenta que “no primeiro vídeo a trilha sonora é calma, dá um tom de elegância de que eles são os cientistas, que é neutro, que fala a verdade, mas aí vem uma parte, com umas ruas inundadas, parecendo Porto Alegre num dia de chuva (...)”. Ou seja, aqui o Licenciando 4 acentua o apelo ao elemento emocional e dramático feito pelo filme. Por sua vez, quanto ao segundo vídeo esse mesmo Licenciando 4 comenta “o outro vídeo exibe uma trilha sonora dramática no estilo *History Chanel*, com frases de impacto, talvez não tão fundamentado assim, talvez focado naquela parte chocante, as imagens são fortes”.

Neste momento o Licenciando 1 intervém comentando “como se os dois vídeos quisessem seduzir”, o que é confirmado pelo Licenciando 4 que assinala “os dois vídeos são iguais né, por que eles querem (...)”. Aqui o Licenciando 4 é interrompido pelo Licenciando 2 que observa “porém eles parecem ser direcionados para pontos diferentes, o segundo vídeo é direcionado talvez para um público com menos conhecimento científico e o primeiro para pessoas que entendem (...)”.

O pesquisador comenta, então, que se tratam de dois vídeos de divulgação e de que estes apresentam não apenas a base física, mas também as possíveis consequências e implicações sociais da questão. Ou seja, o pesquisador, em seu papel de articulador imparcial, tanto quanto possível, lembra que uma discussão completa da questão envolveria necessariamente abordar as três questões iniciais, a saber: as causas, as consequências e as ações que podem ser tomadas a respeito.

Esse comentário do pesquisador foi reforçado pela observação do Licenciando 2 que comenta “assumindo que ele, o aquecimento global, exista e a causa seja esta (...) se chegou a essa conclusão, tu precisa levar para as pessoas isso de alguma forma para que elas entendam e se motivem a fazer alguma coisa diferente”.

Aqui o diálogo que se estabelece reflete também sobre a dificuldade de se formar uma opinião fundamentada apenas com base nos dois vídeos, algo que é acentuado pelo Licenciando 5 que comenta “a informação que a gente tem, depende da informação que

eles nos passam”. A intervenção do Licenciando 5 exemplifica uma certa perplexidade diante das informações que são fornecidas pelos vídeos, em grande parte informações novas e que, dada a complexidade da temática, exigem um considerável *background* de conhecimentos e informações por parte do ouvinte para poder avaliar de forma apropriada o conteúdo dos vídeos.

Em suma, nesse momento os alunos concordaram que, decidir e tomar posicionamento apenas a partir dos vídeos poderia ser precipitado, inclusive dada certa predisposição humana em aceitar mais facilmente informações que confirmam as nossas crenças prévias, como é revelado nas pesquisas sobre o viés de confirmação, aspecto que é mencionado pelo pesquisador.

Para direcionar melhor a discussão, o pesquisador lança novamente a pergunta para a turma, ou seja, se estes consideram que existe uma controvérsia científica sobre aquecimento global antropogênico em curso?

Prontamente o Licenciando 1 responde “sim há controvérsia, continuo dizendo que há uma controvérsia”; o Licenciando 2 interrompe “há controvérsia mas não...ela não é meio a meio como alguns debates possam colocar, é mais ou menos como uma controvérsia sobre Relatividade Geral, como qualquer outra teoria científica”. Ou seja, o Licenciando 2 aponta para o fato de que os cientistas da visão consensual representam a ampla maioria, lembrando que sempre pode haver dissidentes como ocorre em qualquer área da ciência.

Neste momento o pesquisador pergunta “se um cientista vem a público discordar, é suficiente para constituir uma controvérsia? Depende de quantos são?”. Novamente o Licenciando 2 responde “claro”, o que é confirmado pelo Licenciando 6 que diz “eu iria dizer mais ou menos a mesma coisa que o Licenciando 2, uma coisa é ter metade-metade, outra coisa é (...)” .

É interessante notar que nesse momento o Licenciando 1, que se manifestara como considerando que há uma controvérsia, passa a comparar os cientistas céticos com os proponentes da “Terra plana” quando diz “que fazem (referindo-se aos céticos) mais barulho que os outros, e as pessoas acreditam”.

A partir desse momento o pesquisador direciona o diálogo para o tema da natureza

das controvérsias científicas iniciando pela pergunta: “o que vocês consideram que é uma controvérsia científica?”. O Licenciando 1 responde “opinião contrária ao que é aceito cientificamente”. Essa declaração foi, então, problematizada pelo pesquisador perguntando “se algo é aceito cientificamente, pressupõe-se que há consenso?”, ao que o Licenciando 1 concorda, reafirmando “enquanto tiver alguém que discorde do que é aceito cientificamente, há uma controvérsia”. Contudo, o Licenciando 6 interrompe e diz “discorda, mas discorda do que?”, referindo-se aos casos de desacordo que envolvem defensores da “Terra plana” e que claramente não geram uma controvérsia científica. Neste momento, os alunos parecem concordar que um mero debate não é suficiente para caracterizar uma controvérsia científica. Contudo, como visto no comentário do Licenciando 1, pode-se perceber que havia certa confusão conceitual, em especial, com respeito aos conceitos de “consenso” e “controvérsia científica”.

A próxima intervenção relacionada à questão das controvérsias científicas vem do Licenciando 5 que comenta “mas uma vez que eu estudei profundamente o assunto de forma honesta e justa (...) tu acredita que eu vou acabar chegando na mesma conclusão que tu?”, manifestando certa perplexidade sobre a questão da racionalidade envolvida em casos de desacordo.

Nesse momento a opção do pesquisador foi não fornecer uma resposta ao Licenciando 5 e propôs uma discussão anterior sobre o conceito de controvérsia científica que, então, passou a ser feita por meio de uma apresentação de slides: foi uma apresentação sobre a epistemologia da controvérsia científica.

Em sua fala, o pesquisador retoma a questão do Licenciando 5, observando que essa pergunta trata da questão sobre a possibilidade de desacordo racional, ou seja, se é possível que duas pessoas, avaliando a mesma evidência, possam ter um desacordo racional. Observa, ainda, que este é um tópico filosófico discutido na epistemologia do desacordo (Feldman & Warfield, 2010), sobre o qual há um debate filosófico em curso. Contudo, o pesquisador acentua que a posição filosófica mais aceita é de que sim, é possível ter um desacordo racional, pois de outro modo os cientistas que mantêm suas posições em casos legítimos de controvérsia seriam irracionais, o que seria uma conclusão indesejada.

Ou seja, respondendo a pergunta do Licenciando 5 o pesquisador admite que sim, duas pessoas distintas podem avaliar a mesma evidência e chegar racionalmente a conclusões distintas, uma vez que crenças de fundo, teorias aceitas e a *perspectiva de acesso* influenciam a conclusão (veja-se seção 3.3.1). Observa, contudo, que após a resolução de uma controvérsia científica, o desacordo racional deixa de existir. Assim, por exemplo, atualmente não seria mais racional crer no geocentrismo, embora historicamente tenha sido.

A discussão foi profícua e avançou para tópicos como verdade e racionalidade e as condições necessárias para a existência de uma controvérsia científica. Ou seja, para haver uma controvérsia científica é necessário que exista um desacordo racional entre os cientistas, ao mesmo tempo, os casos históricos de controvérsias científicas revelam que sempre há remanescentes que continuam discordando mesmo após a controvérsia estar resolvida ou encerrada (veja-se o caso recente dos terra planistas, etc.) e, assim, continua o pesquisador, a questão que se coloca é “saber se no caso das mudanças climáticas o desacordo é racional”, ou seja, se os céticos são racionais ao continuar mantendo sua posição.

Nesse momento o Licenciando 2 interrompe com um comentário relativo à temática das mudanças climáticas e diz “como envolve tantas áreas diferentes ninguém consegue ser especialista em todas ao mesmo tempo para ter uma fotografia geral, e isso acaba apimentando mais os debates”.

Vê-se, aqui, que o Licenciando 2 têm um posição epistemológica bastante sofisticada, algo que lembra a questão da *perspectiva de acesso*, apontada por autores da filosofia da ciência como Lugg (1978) como sendo um dos fatores que explicam a existência de desacordos persistentes entre cientistas (seção 3.3.1).

Voltemo-nos agora para o segundo encontro, dedicado à discussão da física do efeito estufa e a história da ciência das mudanças climáticas. Este encontro, novamente, foi caracterizado por um constante diálogo entre o pesquisador e os licenciandos durante a apresentação dos conteúdos.

Num primeiro momento o pesquisador indaga os alunos sobre o que acharam dos textos, em especial, da Física básica do efeito estufa ou se estes já compreendiam os

conceitos envolvidos, ao que poucos alunos se manifestam. Inicia, assim, com a discussão do conceito de temperatura planetária e uma comparação dos planetas Mercúrio, Vênus, Terra e Marte; neste momento, os alunos manifestam-se um tanto surpresos, demonstrando que se trata de um assunto novo, ou pouco conhecido por eles.

Em seguida o pesquisador indaga sobre a explicação usual do efeito estufa, ao que o Licenciando 1 comenta que, conforme lembra do Ensino Médio, tem a ver com “alguma coisa que causa um buraco na camada de ozônio”; alguns colegas discordam e o Licenciando 3 acrescenta “não é justamente o oposto, tu aumenta a densidade (...) muito gás, então a luz entra, do Sol, e o calor não consegue sair”.

Podemos notar aqui a existência de confusão conceitual entre o fenômeno do efeito estufa e a questão da camada de ozônio de parte do Licenciando 1. Além disso, é interessante notar que o Licenciando 1 cita as aulas de Ensino Médio como fonte de informação sobre o tema. Ao mesmo tempo, o Licenciando 3 também encontra dificuldade em formular uma explicação mais elaborada do efeito estufa, fazendo uso de conceitos como densidade, sem fazer referência aos gases de efeito estufa. A partir desse momento, o pesquisador faz uma pequena apresentação sobre a explicação do efeito estufa, conforme os conceitos apresentados na seção 5.1.

Ao discutir o balanço de energia da Terra (seção 5.1.3), que envolve o equilíbrio entre o que entra e o que sai de energia no topo da atmosfera, o pesquisador é interrompido pelo Licenciando 5 que comenta:

Fourier quando ele cita que [...] a Terra recebe radiação do Sol, ela precisaria obrigatoriamente emitir a mesma quantidade para se manter estável, equilibrada, se não ela ficaria aquecida, mas ele não cita que poderia se transformar em outras formas de energia. (Licenciando 5)

Ao que o pesquisador, por não ter compreendido o questionamento do aluno, lembra que, de fato, Fourier cita algumas formas de distribuição interna do calor como, por exemplo, a formação dos ventos e o papel da vegetação. Contudo, o aluno não satisfeito intervém novamente com uma fala reveladora sobre a sua inquietação frente à discussão do balanço de energia. Ele diz:

É porque ficou muito sucinto ali [...] então tá, então não emitiu, ah aqueceu, e as

outras? Os outros tipos de energia? [...] até o primeiro, da Terra fria, deixa isso bem claro, recebendo radiação, para ela se manter em equilíbrio ela tem que emitir de volta [...] e os outros tipos de transformações? (Licenciando 5)

Considerando as duas falas do Licenciando 5, vemos que a sua inquietação aponta para a uma dificuldade de pensar a Terra como um sistema, no caso um sistema aberto frente à energia. Embora o aluno tenha razão que a energia que entra no sistema “Terra” se distribui em energia interna do sistema, escapa-lhe a compreensão de que a distribuição ou as transformações de energia envolvidas dentro do sistema não influenciam no computo final, sobre o que entra e que sai do sistema. Ou seja, do ponto de vista das transformações a energia se conserva. Assim, em um sistema aberto, como o caso da Terra, a única maneira de aumentar/diminuir a energia interna (pensada aqui como relacionada à temperatura) do sistema é através das fronteiras do sistema (topo da atmosfera) com a entrada/saída de energia do sistema.

Neste sentido, refletindo sobre a intervenção do Licenciando 5, é possível que um tratamento mais apropriado da discussão sobre o balanço de energia da Terra requeira uma atenção para o tema da modelagem científica (Tasquier, Levrini & Dillon, 2016), abordando o passo a passo necessário para a representação da Terra como um sistema aberto, antes de adentrar, propriamente, na discussão sobre o balanço de energia, temperatura de equilíbrio e de superfície (seção 5.1).

Por fim, ao final desse encontro o pesquisador indaga os futuros professores sobre a sua percepção e opinião a partir dos dois primeiros encontros realizados até aquele momento. Ao que o Licenciando 1 comenta “semana passada eu estava mais convicto (...) da minha ideia de aquecimento global, aí quando vi a parte da história, eu vi que não era bem assim”; aqui o pesquisador pergunta: “qual era sua ideia de aquecimento global?”; o Licenciando 1 responde “a minha ideia era simplesmente (...) que é o CO<sub>2</sub> e acaba o assunto, agora tem os argumentos, tem a saturação (...), tem os ciclos de Milankovitch”.

Aqui, vemos que o aluno se sente em terreno movediço em face do volume de informações e debates sobre o tema. Novamente, pode-se observar que haveria necessidade de mais tempo para abordar adequadamente a quantidade de temas, informações e conceitos científicos relacionados à questão climática.

Passemos agora para o terceiro encontro. Nesse encontro tivemos, novamente, um momento de maior debate entre os membros da turma com respeito à polêmica entre os cientistas e os céticos. Após a exibição da segunda parte do vídeo intitulado “A grande farsa do aquecimento global” (até o minuto 34), o pesquisador pergunta para turma o que eles achavam do vídeo e dos argumentos, em especial da questão do Sol, em comparação com o texto que fora fornecido para leitura (Apêndice H).

Aqui entrevio um aluno externo<sup>125</sup> que observa “para quem não teve acesso aos textos e vê esse filme de primeira pensa logo que aquecimento global é uma bobagem”, passando a observar como o vídeo enfatiza possíveis defeitos da teoria do dióxido de carbono, o que é reforçado pelo Licenciando 1 que comenta:

[...] é isso é bem notável, uma queda (de temperatura) em 100 anos, oh é aqui que nós vamos pegar, é literalmente [...] é a visão dos céticos né, tipo eu não acredito no aquecimento, mas tudo tá indo para que eu acredite, mas daí eu encontro uma vírgula que comprove o que eu digo, é aqui que eu vou. (Licenciando 1)

É interessante perceber que o Licenciando 1, no mesmo momento em que manifesta certo ceticismo com respeito aos céticos, comenta na sequência, influenciado pelo andamento do debate sobre o Sol, que “mas será que a atividade do núcleo da Terra não tá modificando também ao longo dos anos?”, sugerindo a possibilidade de outros fatores explicarem o aquecimento e não somente o CO<sub>2</sub>, onde ele (Licenciando 1) complementa “eu estava achando que existe aquecimento global, mas agora já tô achando que não existe (...) eu acho que o CO<sub>2</sub> influencia, mas ele não é a causa”.

Temos aqui um exemplo de como as opiniões dos alunos sofreram idas e vindas durante os encontros, neste caso em particular, a opinião sendo influenciada pelo vídeo cético que questiona justamente o papel do CO<sub>2</sub> como causa do aquecimento global. Contudo, é importante notar que há ainda outros fatores que influenciam a percepção e posicionamento dos alunos, como o andamento dos debates, a apropriação que eles fazem dos conceitos científicos e epistemológicos discutidos, a percepção das informações científicas fornecidas, bem como as suas crenças prévias e visões de mundo.

---

<sup>125</sup> Um aluno da Física que não estava matriculado na disciplina, mas que pediu para assistir um dos encontros.

Logo na sequência o Licenciando 2 passa a comentar o argumento cético exposto no vídeo, ou seja, o argumento de que o CO<sub>2</sub> não é a causa, uma vez que nos períodos de saída de uma idade do gelo a temperatura sobe antes do aumento da concentração do CO<sub>2</sub>, assim o CO<sub>2</sub> seria um efeito e não a causa. Aqui o Licenciando 2 identifica a falácia lógica desse argumento, observando que “isso não impede, não nega o fato de que se aumentar o CO<sub>2</sub> também vai aumentar a temperatura”. Ou seja, o fato de que na história climática da Terra a temperatura tenha subido antes do CO<sub>2</sub>, não implica que o CO<sub>2</sub> não seja um gás de efeito estufa e de que um aumento das concentrações de CO<sub>2</sub>, devido às emissões antrópicas não possam resultar em aquecimento.

Foi após essa discussão que o pesquisador forneceu aos alunos o material de apoio contendo os argumentos céticos apresentados no vídeo (Apêndice J), passando a fazer um apanhado geral de cada argumento com comentários e diálogo com a turma.

Finalmente o pesquisador aborda o argumento cético de que é o Sol que influencia o clima. Passa, então, a questionar os alunos sobre se outros fatores além do Sol poderiam afetar o clima? Ou seja, se o clima é sensível a pequenas variações no Sol, será que, também, não é o caso que o clima é sensível às mudanças que possam ocorrer em outros fatores naturais (albedo, vulcões etc.) e inclusive, fatores antropogênicos?

Aqui é interessante notar que os alunos reconhecem essa possibilidade, o Licenciando 1 comenta que “sim, se derrubar ou queimar um monte de árvore em um lugar que é fresquinho, não vai mais ser fresquinho vai ser muito quente”, ao que o Licenciando 2 cita o exemplo do microclima gerado pelo Jardim Botânico em Porto Alegre.

Aqui o pesquisador questiona a abordagem dos céticos que concentram suas atenções sobre os fatores naturais que afetam o clima, mas que, tentam descartar os fatores antropogênicos. Em suma, questiona a turma sobre se isso é razoável, ou seja, se é razoável reconhecer que o clima é sensível a fatores naturais, mas negar que possa ser sensível a fatores antropogênicos? O pesquisador destaca que existe uma física do efeito estufa que diz, justamente, que aumentar a concentração de gases de efeito estufa altera o balanço de energia da Terra. O encontro encerrou assim, sem respostas conclusivas e com muitas questões colocadas, a ideia era incentivar os alunos a lerem os textos de apoio e aprofundarem seus conhecimentos sobre o tema.

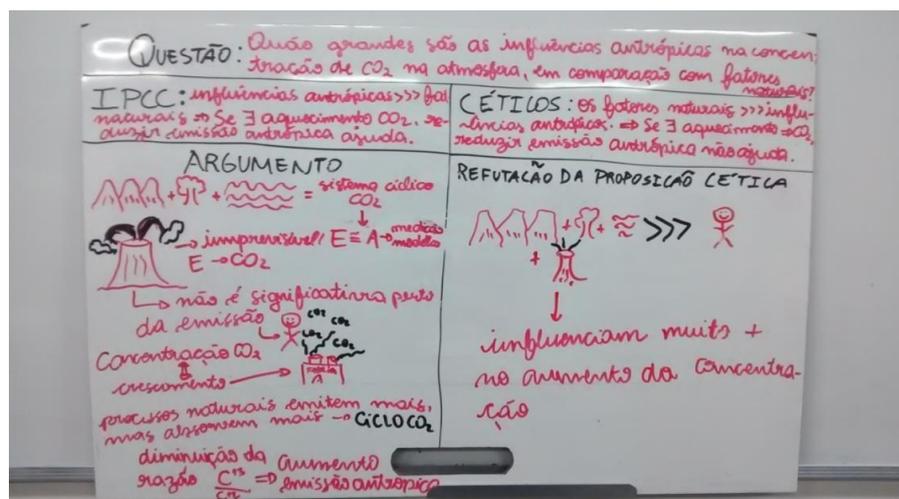
Passemos agora para a análise do quarto encontro, em que foi desenvolvida a atividade de construção de contra-argumentos a um argumento cético escolhido por cada grupo. Como visto na seção 7.1 foram formados quatro grupos de alunos que escolheram os seguintes argumentos céticos: (1) *Emissões naturais de CO<sub>2</sub> são muito maiores que as emissões humanas, logo as emissões antropogênicas são desprezíveis*; (2) *Vapor d'água compõe 95% dos gases de efeito estufa, o CO<sub>2</sub> é irrelevante*; (3) *O efeito do CO<sub>2</sub> está saturado, entradas adicionais de CO<sub>2</sub> na atmosfera não tem grande impacto*; (4) *A temperatura sobe antes do CO<sub>2</sub>, logo o CO<sub>2</sub> não é a causa do aumento da temperatura*.

Contudo, é relevante explicitar que no quarto encontro compareceram apenas os três primeiros grupos que desenvolveram os argumentos (Apêndices K, L, M), a saber:

- (1) Emissões naturais de CO<sub>2</sub> são muito maiores que as emissões humanas, logo as emissões antropogênicas são desprezíveis.
- (2) Vapor d'água compõe 95% dos gases de efeito estufa, o CO<sub>2</sub> é irrelevante.
- (3) O efeito do CO<sub>2</sub> está saturado, entradas adicionais de CO<sub>2</sub> na atmosfera não tem grande impacto.

Todos os grupos optaram por rebater o argumento cético, ou seja, construir um contra-argumento baseado nas informações da visão científica consensual, de modo especial, de acordo com os conteúdos fornecidos e disponíveis no site *Skeptical Science* (Apêndices M, N e O). Como descrito na seção 7.1, cada grupo construiu seu argumento baseado no *scaffold* de argumentação, utilizando o miniquadro branco (90 cm x 70 cm).

O Grupo 1, tomando o tópico (argumento dos céticos) (1) *Emissões naturais de CO<sub>2</sub> são muito maiores que as emissões humanas, logo as emissões antropogênicas são desprezíveis*, desenvolveu o argumento mostrado na Figura 7.1.



**Figura 7.1:** Contra-argumento construído pelo Grupo 1.

Seguindo o *scaffold* de argumentação, o Grupo 1 formulou na parte superior a questão a ser investigada, aqui transcrita: “quão grandes são as influências antrópicas na concentração de CO<sub>2</sub>, em comparação com os fatores naturais?”. Na parte a esquerda do quadro, é apresentada a proposição a ser defendida (cientistas), junto com o argumento. Os alunos destacam a seguinte proposição: “IPCC: influências antrópicas são maiores que fatores naturais” e eles complementam “se existir aquecimento devido ao CO<sub>2</sub>, então reduzir emissões ajuda”. Na parte a direita do quadro aparece a proposição competidora (cética) junto com a sua refutação. A proposição competidora apresentada foi: “os fatores naturais têm maior influência que os fatores antrópicos, complementado por “se existir aquecimento devido ao CO<sub>2</sub>, então reduzir emissões não ajuda”.

É interessante notar que a estrutura argumentativa utilizada na parte inferior do quadro não segue o padrão clássico de “premissas que levam a uma conclusão”; ao invés disso, os alunos (nos três grupos) fizeram uso de elementos pictóricos para estruturar o argumento. Neste sentido, é importante analisar os quadros argumentativos à luz das falas dos alunos durante a apresentação.

Podemos notar que o argumento desenvolvido no lado esquerdo do quadro, trata do ciclo de carbono na Terra, ou seja, enquanto que os processos naturais emitem gigantescas quantidades de CO<sub>2</sub> para a atmosfera, o processo cíclico envolve, também, a

reabsorção desse carbono. Esse aspecto pareceu ser bem compreendido pelos alunos, o que transparece em suas falas na apresentação. Assim, por exemplo, ao desenvolver o argumento do IPCC o Licenciando 7 destaca “o argumento não considera só a emissão de CO<sub>2</sub>, mas sim o ciclo de CO<sub>2</sub> que envolve também a reabsorção, né esse equilíbrio, emissão e reabsorção a setinha saindo da Terra e a setinha voltando para a Terra”, e continua “as emissões naturais advindas de rochas, vegetação e oceanos, são sim maiores em número do que a emissão antrópica, só que isso está relacionado a um sistema cíclico do carbono”.

Com respeito à refutação do argumento cético, lado direito, o quadro exhibe poucos detalhes, contudo, novamente os detalhes podem ser encontrados nas falas dos alunos durante a apresentação. Assim, a respeito da influência de fatores naturais como os vulcões o Licenciando 6 comenta “de fato, praticamente todos os artigos publicados em periódicos reconhecidos, com metodologia aceita por revisão por pares, todos esses artigos dão indícios de emissão de gás carbônico pelos vulcões... menores, bem menores do que as emissões antrópicas”, e complementa “ou seja, a posição cética não tem base no que está nas publicações científicas atualmente”.

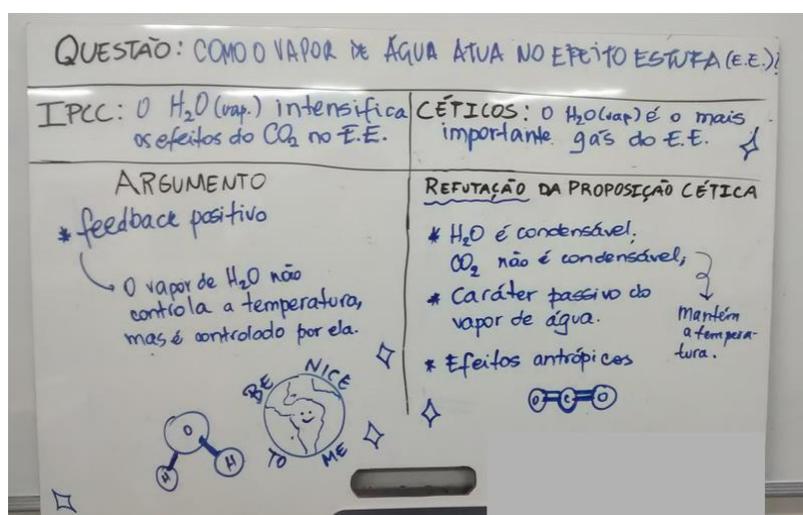
Vemos, assim, que os alunos demonstram compreender a questão investigada. Em particular, o Licenciando 6 demonstra maturidade epistemológica ao avaliar e considerar os processos de revisão por pares como parte integrante da atividade científica.

Ao mesmo tempo, os alunos demonstram compreender o papel do ser humano no desequilíbrio do ciclo natural do carbono, ou seja, compreendem que embora as emissões humanas sejam muito menores que as naturais, elas podem ter um papel no desequilíbrio do ciclo, pois há um limite de absorção por parte dos fatores naturais (como oceanos e biosfera). Assim, quando o Licenciando 7 destaca que existe relação entre o aumento da concentração de CO<sub>2</sub> e o crescimento industrial, o Licenciando 6 complementa:

Poderia ser uma coincidência [...], mas tem a evidência dos isótopos [...] os cientistas fazem um cálculo que é a razão entre o carbono 13 [...] e o carbono 12 [...], essa razão é notado que está decrescendo, e isso indica que a origem desse carbono é das emissões antrópicas, por que o carbono emitido pelas emissões antrópicas tem uma proporção diferente de isótopos. (Licenciando 6)

Vemos, que o Licenciando 6 foi além, citando informações sobre as medidas de isótopos de carbono na atmosfera e que constituem parte importante da evidência científica para poder afirmar que o aumento da concentração de  $\text{CO}_2$  na atmosfera é de origem antrópica.

Voltemo-nos agora para o Grupo 2 que abordou o tópico (2) *Vapor d'água compõe 95% dos gases de efeito estufa, o  $\text{CO}_2$  é irrelevante*, desenvolvendo o argumento apresentado na Figura 7.2.



**Figura 7.2:** Contra-argumento construído pelo Grupo 2.

O Grupo 2 inicia com a questão: “como o vapor d’água atua no efeito estufa?”. A proposição defendida (lado esquerdo do quadro) é: “O  $\text{H}_2\text{O}$  intensifica os efeitos do  $\text{CO}_2$  no efeito estufa”. Já no lado direito do quadro encontramos a formulação da proposição competitiva: “O  $\text{H}_2\text{O}$  é o mais importante gás de efeito estufa”.

Na parte argumentativa, também neste grupo não encontramos uma estrutura clássica de construção de argumentos por premissas, mas a apresentação de ideias-chaves, bem como o uso de figuras ilustrativas.

Contudo, a estrutura argumentativa transparece na fala dos alunos que demonstram compreender que o vapor d’água não desempenha o mesmo papel que o  $\text{CO}_2$  no efeito

estufa, por ser um gás condensável, o vapor d'água funciona como um mecanismo de *feedback*.

Pode-se perceber diferenças com respeito à apropriação dos conceitos por parte dos alunos. Assim, por exemplo, o Licenciando 8 manifesta certa confusão conceitual ao comentar o mecanismo de *feedback* do vapor d'água, ele diz:

Conforme entra a radiação na atmosfera terrestre, ela é refletida de volta, excita as moléculas de água e volta e com isso a temperatura fica ali, com o aumento da temperatura, condensa mais vapor de água, tendo mais vapor d'água vai ficar mais quente, então acaba sendo um efeito de convecção que acaba acontecendo na nossa atmosfera. (Licenciando 8)

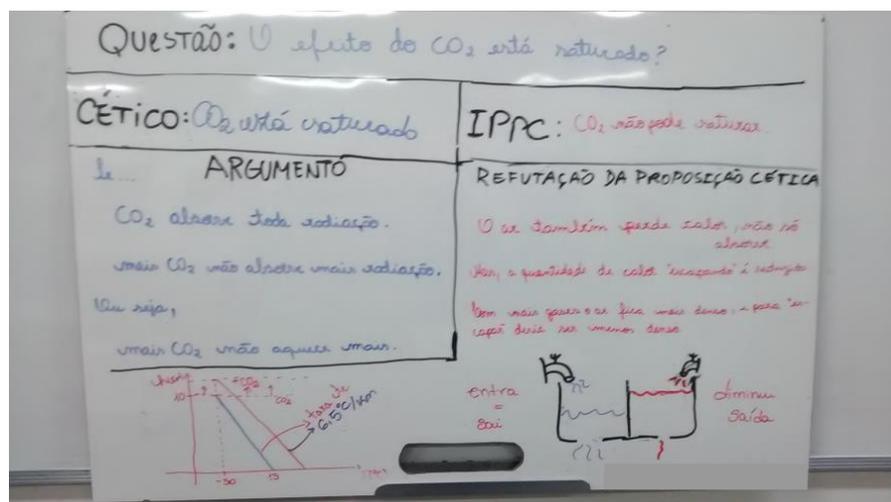
Essa percepção, de forma muito similar a respostas obtidas no questionário do Estudo II (Capítulo 6), apresenta diversas lacunas conceituais com respeito aos processos que envolvem a interação da radiação com a atmosfera terrestre. Assim, além do uso dos conceitos de “condensação” e “convecção” de forma confusa no contexto da explicação, o aluno parece considerar que a radiação refletida (portanto, principalmente no espectro visível) é absorvida pelo vapor d'água da atmosfera, o que exemplifica o mesmo erro conceitual da categoria (reflexão/absorção solar, Capítulo 6). Por sua vez, o Licenciando 2 comenta o mesmo processo explicando:

[...] apesar do vapor d'água ser o principal gás de efeito estufa [...] ele não pode ser responsabilizado diretamente pelo aumento da temperatura, outro gás, a proporção de outro gás primeiro se altera, por exemplo o CO<sub>2</sub>, causa um pequeno aumento de temperatura, e esse aumento de temperatura por causa desse outro gás [...] é aumentado pelo vapor d'água. (Licenciando 2)

Vemos, assim, que esta última explicação demonstra ser mais coerente. Contudo, é importante notar que nenhum dos membros do grupo comenta a diferença entre os gases condensáveis (vapor d'água, por exemplo) e gases estufa não condensáveis como o CO<sub>2</sub>.

Como visto no Estudo Teórico (seção 5.1.5), essa diferenciação é fundamental para compreender que o vapor d'água pode apenas atuar como resposta (*feedback*) ao aumento de temperatura, previamente gerado pelos gases não condensáveis. Esta compreensão é necessária para refutar o argumento cético.

Por último, ocorreu a apresentação do Grupo 3 que desenvolveu o contra-argumento para o argumento ético “(3) O efeito do CO<sub>2</sub> está saturado, entradas adicionais de CO<sub>2</sub> na atmosfera não tem grande impacto”, como apresentado na Figura 7.3.



**Figura 7.3:** Contra-argumento construído pelo Grupo 3.

O grupo inicia com a questão de pesquisa/pergunta: “O efeito do CO<sub>2</sub> está saturado?”. Antes de tudo, pode-se observar que este grupo inverteu/modificou o quadro argumentativo, colocando a proposição cética junto com o argumento cético no lado esquerdo do quadro, e a proposição defendida, do lado direito, junto com a refutação do argumento cético. Temos assim, a proposição cética “O CO<sub>2</sub> está saturado” e a proposição defendida “O CO<sub>2</sub> não pode saturar”.

Do lado esquerdo temos o argumento cético de que o efeito do CO<sub>2</sub> atmosférico está saturado, portanto, aumentar a concentração de CO<sub>2</sub> não resultaria em aumento do efeito estufa. Contudo, novamente o quadro não exibe uma estrutura argumentativa detalhada, ao mesmo tempo em que não especifica todas as premissas necessárias para compor o argumento cético. De modo especial, não aparece na formulação do argumento cético o porquê da alegada saturação do efeito do CO<sub>2</sub>.

Já no lado direito do quadro, temos a refutação do argumento cético. Encontramos

ali formuladas três premissas (que iremos descrever dado que a qualidade da imagem dificulta a leitura): “O ar também perde calor, não só absorve”; “Mas, a quantidade de calor escapando é reduzida”; “Com mais gases o ar fica mais denso, e para escapar devia ser menos denso”. Vemos, aqui, uma possível lacuna conceitual com respeito aos conceitos envolvidos no processo de absorção da radiação na atmosfera pelos gases de efeito estufa. Ao invés de usarem termos como “absorção”, “reemissão”, “concentração de gases estufa”, os alunos (entre eles o Licenciando 3) empregam o conceito de “densidade” para dizer que a atmosfera tem sua “opacidade” com respeito à radiação infravermelha aumentada, devido a adição de gases de efeito estufa, especialmente próximo ao topo da troposfera. É interessante notar que o Licenciando 3 já havia empregado o conceito de densidade do ar para formular a sua explicação do efeito estufa no segundo encontro, ou seja, esta lacuna conceitual parece persistir até o presente encontro (sobre a explicação do efeito estufa veja-se o Capítulo 5).

De fato, os dois recursos pictóricos utilizados no quadro, o gráfico à esquerda e a analogia hidráulica do ralo da pia, exibem informações mais relevantes na resposta ao argumento cético (veja seção 5.1.4). Contudo, nos comentários ao gráfico, que descrevem o aumento da altitude da região emissora da atmosfera, encontramos algumas dificuldades conceituais e poucos detalhes quando o Licenciando 3 comenta “com mais gases o ar fica mais denso, porque para a radiação escapar precisa de um ar menos denso, mais rarefeito (...), se eu tenho mais gases ele fica mais denso, então a radiação vai escapar mais para cima”. Onde “mais para cima” faz-se referência ao aumento da região emissora da atmosfera, aspecto esse que não é mencionado. Com respeito à analogia hidráulica o mesmo Licenciando 3 comenta “de fato se tem um fluxo igual na entrada e na saída vai permanecer o mesmo nível (...), mas quem disse que o fluxo é igual (...) quem disse que a saída é a mesma?”. Observamos que nenhum membro do grupo diferenciou durante a explicação as regiões atmosféricas. Ou seja, o fato de que o efeito do CO<sub>2</sub> possa estar saturado na baixa troposfera, não significa que exista saturação no topo da troposfera, onde o ar é mais rarefeito com baixa concentração de CO<sub>2</sub>. Assim, é nas regiões atmosféricas de altitude elevada onde existe espaço para um aumento do efeito estufa devido ao aumento ad concentração de CO<sub>2</sub> naquela região.

A partir do que foi exposto, parece razoável considerar que a atividade de

construção de contra-argumentos demonstrou ter grande potencial para abordagem da questão socioceintífica do aquecimento global; de modo especial, para abordar o debate entre os cientistas da visão consensual e os céticos do clima. Contudo, pode-se perceber algumas dificuldades no decorrer da atividade.

Em primeiro lugar, como podemos ver nos quadros argumentativos apresentados e perceber nas falas dos alunos, as apropriações dos conceitos da Física básica do efeito estufa e das informações contidas nos textos do site *Skeptical Science*, ocorreram de forma diferenciada por parte dos alunos. Enquanto que alguns alunos demonstraram um excelente domínio dos conceitos e das informações filtradas, outros mostraram ter dificuldade conceitual. De um lado, este resultado não é surpreendente porque os licenciandos não tinham tido nenhuma disciplina de educação ambiental ao longo de sua formação e os conhecimentos prévios que detinham resultavam de interesses pessoais sobre o tema. De fato como demonstrou a análise do pré-teste, embora todos os licenciandos tenham demonstrado que já ouviram ou leram alguma coisa sobre o tema, havia diferenças consideráveis entre os licenciandos quanto ao grau de aprofundamento e conhecimento sobre o tema.

Por outro lado, como já apontando ao longo deste capítulo, o grande volume de informações repassadas aos alunos (nas apresentações e nos textos de apoio) em curto espaço de tempo, pode ter contribuído para gerar a dificuldade de dar conta dessa informação em poucos encontros. Ou seja, haveria a necessidade de ampliar o número de encontros, bem como delimitar o escopo, por exemplo, dando enfoque a um único argumento cético sobre o qual a turma inteira poderia se debruçar. Este é um aspecto passível de reflexão para futuras reaplicações da sequência didática aqui testada.

Ao mesmo tempo, como observado, a discussão da física do efeito estufa, também requer prestar atenção à modelagem científica, e à introdução passo a passo dos conceitos envolvidos. Por fim, para uma melhor realização da atividade de construção de argumentos, seria importante dedicar um encontro, pelo menos, para a discussão de estruturas argumentativas, introduzindo alguns conceitos da lógica formal e informal, bem como fornecendo exemplares de bons e maus argumentos.

### 7.2.3 Resultados obtidos no Pós-Teste

Após os quatro encontros realizados, foi aplicado o pós-teste (Apêndice D) com as mesmas questões Q1 e Q2 do pré-teste e com a adição de uma terceira questão Q3. Apresentamos a seguir, em sequência e na íntegra, as respostas das questões abertas Q1, Q2 e Q3<sup>126</sup>. Para fins de comparação, na questão Q2 apresentaremos junto ao resultado do pós-teste, também o gráfico de barras obtido no pré-teste.

*Q1. Na sua opinião, existe uma controvérsia científica em curso sobre as causas do aquecimento global? Ou seja, sobre se o aquecimento global é de origem natural ou se é causado pela ação do homem? Por quê?*

Não vejo uma controvérsia significativa. Pode-se dizer sem dúvidas que existe consenso sobre a causa antropogênica do aquecimento. [R1]

Não há uma controvérsia científica, pois a comunidade científica aceita a origem humana para a intensificação desse fenômeno. Há, de fato, uma questão socio-científica envolvida, mas não uma disputa (com dois lados com explicações opostas e igualmente razoáveis) na esfera científica. [R2]

Existe. Tanto os céticos como os cientistas têm opiniões contrárias e bem intrigantes. Como por exemplo, sobre o efeito CO<sub>2</sub> estar saturado. [R3]

Sim, e as vertentes dessa questão às vezes nos colocam mais dúvidas do que certezas. Acredito, inclusive que, embora o renome dos cientistas ou mesmo dos formadores de opinião que apresentam essas questões, às vezes, estão tão imersos em suas ideias que a própria verdade que eles colocam como genuína para eles deve ser tomada como dúvida para quem assiste do lado de fora e isso é que acaba dando formato para a controvérsia. [R4]

Acredito que exista uma controvérsia científica, pois membros de comunidades científicas distintas vem eventualmente discordando sobre esse tema. [R5]

Acredito que a controvérsia existente esteja fora da esfera da comunidade científica, uma vez que dentro desta esfera acredita-se fortemente na influência antropogênica sobre o aquecimento global. [R6]

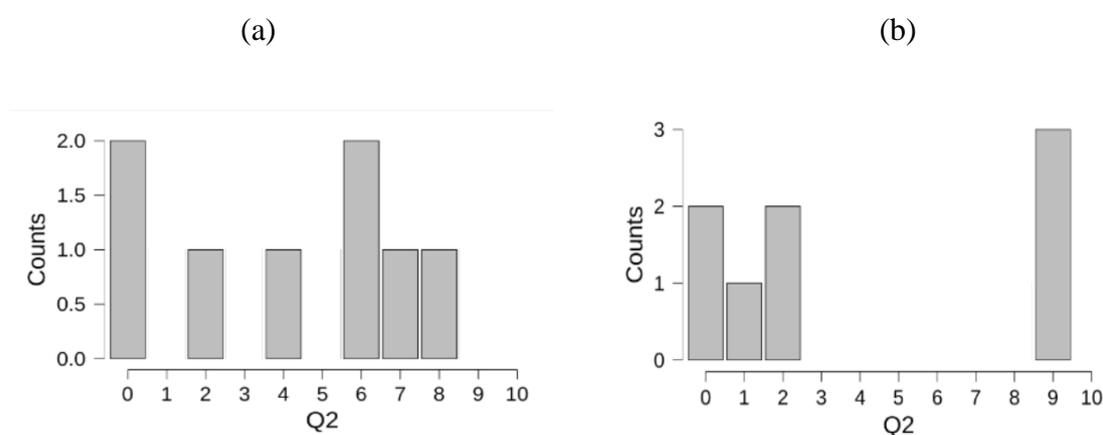
---

<sup>126</sup> É importante notar que embora o número relativo a cada respondente (R1, R2, etc.) não possa ser relacionado com o número do respondente do pré-teste e de cada licenciando dos encontros, pode-se, contudo, associar o número do respondente de Q1 com Q3 do próprio pós-teste. Ou seja, no presente pós-teste, o respondente R1 na questão Q1 é o mesmo respondente R1 da questão Q3.

Logicamente sim, pois há duas comunidades científicas, cada uma com seu time de especialistas (tendo personalidades de renome) com interpretações de dados e projeções futuras. Cada uma dessas comunidades tenta fazer com que o grande público convirja para o seu ponto de vista. [R7]

Existe controvérsia científica. Muitos defendem uma vertente enquanto outros defendem outra, ambos com seus motivos. [R8]

*Q2. A existência de um aquecimento global causado pela ação do homem é ainda uma matéria de ampla disputa na comunidade científica, não havendo consenso científico a respeito”.*



**Gráfico 7.1:** Gráficos de barras com o posicionamento dos oito respondentes com respeito à afirmativa Q2. (a) Resultado do pré-teste. (b) Resultado pós-teste.

*Q3. Considerando a sua opinião sobre o assunto antes e depois dos encontros e discussões em aula, a sua opinião mudou ou continua a mesma? Por quê?”*

Continuou a mesma. Eu já havia tido o interesse de pesquisar o assunto um pouco mais a fundo antes, então mantive minhas conclusões, embora agora estejam melhor embasadas. [R1]

Não lembro o que escrevi no questionário anterior. Mas creio que mudei minha visão sobre o conceito de controvérsia científica, pois antes achava que disputas na esfera pública, e todo tipo de disputa, poderiam ser englobados pelo conceito. [R2]

Eu acreditava que o efeito era causado em grande parte pelo homem, tipo 90% por causa do CO<sub>2</sub>, agora percebo que são muitas mais as consequências que o homem causa. Ver os argumentos dos céticos e também dos cientistas em contraste auxilia muito na hora de formar uma opinião e conseguir argumentar sobre o efeito. Gostei muito da forma como foram apresentados os argumentos e acredito que ainda tem

muito para se aprender sobre o assunto. [R3]

Mudou. Simplesmente porque a gente toma como verdadeiro aquilo que sempre nos contaram, mas ao tomar contato com novas correntes de pensamento e embasadas por pessoas que estão no meio científico, isso acaba perturbando nosso estado de equilíbrio e nos fazendo questionar sobre o assunto. [R4]

Acredito que ela segue mais ou menos a mesma, entretanto, depois do módulo eu consegui fundamentar melhor meus argumentos para debater o tema, aprendendo também a refutar argumentos céticos por meio de algo sólido, e não apenas achismos. [R5]

Minha posição a respeito do aquecimento global e da influência antropogênica manteve-se a mesma, mas acredito que as aulas foram extremamente importantes para reforçar minha posição a partir de argumentos debatidos em aula, bem como fontes de pesquisa novas envolvendo este assunto. [R6]

Minha opinião mudou. Digamos que eu fiquei mais crítico e propenso a analisar os vários lados sobre um determinado assunto. Claro, é preciso que tenham fundamento e embasamento (algo que as duas comunidades tem). Honestamente, não sei dizer qual a causa do aquecimento global, tem pontos das duas visões com os quais eu concordo. Não é como antes, que eu acreditava apenas no efeito estufa e tal. [R7]

Considero que antes eu tinha uma opinião mas não tinha capacidade de debater sobre ela, não haviam argumentos devido a eu não me aprofundar sobre o assunto. Hoje ela é mais sólida. [R8]

Em primeiro lugar, comparemos as respostas obtidas no pré e pós-teste da questão Q2. Podemos notar que no pré-teste (Gráfico 7.2a) as respostas estão distribuídas ao longo de quase todo o espectro de pontos da escala *likert*. Por sua vez, no pós-teste (Gráfico 7.2b) as respostas estão bem localizadas, seja para o lado da controvérsia (três respostas), seja para o lado do consenso (cinco respostas). Além disso, no pós-teste vemos que dois alunos, possivelmente os mesmos, continuam discordando fortemente da afirmativa Q2, ou seja, da existência de controvérsia, acompanhados agora de um terceiro licenciando que rejeita a controvérsia. Por sua vez, três respondentes no pós-teste parecem bastante convictos que sim, existe uma controvérsia científica sobre o tema.

Analisando as respostas às questões abertas Q1 e Q3 pode-se identificar alguns elementos adicionais relativos ao posicionamento dos licenciandos no que tange a

concordância/discordância (forte, moderada, fraca) sobre a existência de controvérsia exibida, bem como sobre a sua autoavaliação sobre uma possível mudança ou não de posicionamento (Questão Q3). A Quadro 7.2 apresenta os resultados dessa análise, onde a última coluna apresenta as passagens que servem de indicativo e justificativa para a análise feita.

**Quadro 7.2:** Avaliação da percepção de controvérsia e consenso para cada respondente do pós-teste.

Respondente	Percepção de Controvérsia	Percepção de Consenso	Autoavaliação (Q3)	Extratos das Respostas Escritas (Q2 e Q3)
R1	—	Forte	manteve posição, mas melhor embasada	“sem dúvidas que existe consenso”... “mantive minhas conclusões, embora agora estejam melhor embasadas”.
R2	—	Forte	mudou a visão sobre controvérsia científica	“há uma questão sociocientífica envolvida, mas não uma disputa...na esfera científica”...“creio que mudei minha visão sobre o conceito de controvérsia científica”.
R3	Moderada	—	mudou de posição e manifesta dúvidas.	“Tanto os céticos como os cientistas têm opiniões contrárias e bem intrigantes”. “Eu acreditava que o efeito era causado em grande parte pelo homem”.
R4	Moderada	—	mudou de posição e manifesta dúvidas.	“as vertentes dessa questão às vezes nos colocam mais dúvidas do que certezas”. “ao tomar contato com novas correntes de pensamento...isso acaba perturbando nosso estado de equilíbrio”
R5	Moderada	—	manteve posição, mas melhor embasada	“Acredito que exista uma controvérsia científica...”. “Acredito que ela segue mais ou menos a mesma,...consegui fundamentar melhor meus argumentos para debater o tema”
R6	—	Forte	manteve posição, mas melhor embasada	“Acredito que a controvérsia existente esteja fora da esfera da comunidade científica”...“as aulas foram...importantes para reforçar minha posição a partir de argumentos debatidos em aula”.
R7	Forte	—	mudou de posição e manifesta	“Logicamente sim, pois há duas comunidades científicas, cada uma com seu time de especialistas”...“não sei dizer qual a causa do aquecimento global...Não

			dúvidas.	é como antes, que eu acreditava apenas no efeito estufa”.
R8	Forte	—	manteve posição, mas melhor embasada	“Existe controvérsia científica. Muitos defendem uma vertente enquanto outros defendem outra, ambos com seus motivos”... “Considero que antes eu tinha uma opinião mas não tinha capacidade de debater sobre ela”

Comparando os dados da Quadro 7.2 com o Gráfico 7.2b pode-se observar algumas discrepâncias quanto ao número de respondentes que discordam/concordam da existência de controvérsia. Enquanto que na resposta à questão Q2 há cinco respondentes que rejeitam a existência de controvérsia, a análise das questões abertas Q1 e Q3 revela apenas três respondentes que rejeitam claramente a existência de controvérsia. Contudo, de modo similar ao que ocorreu no pré-teste, algumas respostas à questão Q1 sugerem adesão moderada à existência de controvérsia, portanto, alguns desses respondentes podem ter respondido de forma diferente na questão do tipo *likert* Q2.

A análise apresentada na Quadro 7.2 também indica mudanças de posicionamento por parte dos licenciandos. Embora não seja possível comparar as respostas da Quadro 7.2 com a Quadro 7.1 (pois o questionário havia sido feito sem identificação do respondente), é, no entanto, possível inferir (como relatado na questão Q3 – Quadro 7.2) que ocorreram mudanças de posicionamento (tanto a favor do consenso como a favor da controvérsia), bem como mudanças quanto a forma, visão e embasamento dos licenciandos frente ao tema.

Assim, por exemplo, entre os respondentes R1, R2 e R6, que concordam com o consenso, R1 e R6 mantiveram sua posição, mas consideram que possuem agora uma base argumentativa melhor. Ou seja, consideram que os encontros foram importantes para melhorar o seu embasamento sobre o tema e a capacidade de debater sobre o assunto. Por sua vez, R2 deixa claro que modificou a sua visão sobre o conceito de controvérsia científica. É importante notar que R2 e R6 apresentam dois conceitos que foram tratados nos encontros. Ambas as respostas mencionam ou fazem uso do termo “esfera científica”, sugerindo a compreensão da distinção entre um debate que ocorre na esfera da comunidade científica e um debate que ocorre na esfera pública. De fato, R2 também faz alusão à

“questão sociocientífica”, ou seja, compreendeu a proposta feita pelo pesquisador de que aquecimento global é um tema controverso quando concebido como questão sociocientífica, ou seja, que transcende a esfera científica.

Por sua vez, entre os respondentes que concordam com a existência de controvérsia temos aqueles que o fazem de forma mais moderada R3, R4 e R5, bem como aqueles que concordam de forma forte com a existência de controvérsia, a saber, R7 e R8. Os respondentes R3, R4, R5, R7 e R8 manifestam certa surpresa com a existência de tantas opiniões e argumentos céticos sobre o tema. De fato, nessas respostas fica evidente o impacto que um argumento cético (e um cientista cético) pode ter sobre o indivíduo no que tange a percepção de controvérsia (veja-se a Seção 5.3.2). É interessante notar que R3 justifica a sua concordância com a existência de controvérsia mencionando o argumento cético de que o efeito do CO<sub>2</sub> está saturado, argumento este discutido nos encontros e rebatido por um dos grupos em aula. Contudo, é importante notar que alguns alunos faltaram ao último encontro, então é possível que R3 esteja entre os alunos ausentes no quarto encontro e, dessa forma, não tenha participado da discussão sobre o argumento da saturação. De modo similar, os testemunhos e contestações dos céticos levaram os licenciandos R4 e R7 a considerarem o tema como sendo controverso, confessando a dificuldade em encontrar terreno firme para formar uma opinião sobre o tema. De fato, R7 manifesta certa perplexidade diante do tema, em especial, da quantidade de informações e argumentos existentes. Embora não se sinta em condições de decidir entre cientistas e céticos, preferindo suspender o juízo, aponta para um ganho positivo com os encontros, que contribuiriam para sua capacidade de pensar criticamente.

De fato, novamente pode-se observar que durante os quatro encontros é possível que o pesquisador tenha pecado ao fornecer uma grande quantidade de informação aos alunos, seja por parte da informação científica, seja por parte dos inúmeros argumentos céticos existentes. Assim, é possível que o volume de informações tenha gerado certa perplexidade por parte dos alunos que encontraram dificuldade em dominar a temática nesse curto espaço de tempo. Neste sentido, pode-se especular que as dúvidas geradas pelo volume de informações e argumentos apresentados num curto espaço de tempo possam ter contribuído para a mudança de opinião de alguns licenciandos no que tange ao endossamento da controvérsia como ilustra a Quadro 7.2.

### 7.3 Considerações gerais sobre o Estudo 3

A partir do que foi descrito e discutido percebe-se que existe um grande desafio envolvido quando tratamos do ensino e aprendizagem de questões sociocientíficas complexas como é o caso do aquecimento global e/ou mudanças climáticas. Por um lado existe um desafio cognitivo por parte do professor e do aluno. Por parte do professor por que exige a seleção e organização dos tópicos (que são variados) e estratégias de ensino a serem empregadas. Para o aluno existe o desafio de dar conta de conteúdos científicos que dialogam de forma interdisciplinar com outras disciplinas das ciências naturais e humanas.

Por outro lado, existe também um desafio emocional e motivacional que abarca o elemento intencional da aprendizagem, no sentido de criar um ambiente para que o aluno esteja disposto a se engajar com as atividades, bem como a abrir mão de suas convicções prévias sobre o tema e isto corrobora nosso referencial teórico. Como revelou o questionário do pré-teste, os licenciandos possuíam, cada um a seu modo, opiniões e concepções prévias sobre a temática do aquecimento global.

Quanto ao engajamento, foi possível constatar ao longo dos encontros que alguns licenciandos participavam mais ativamente do que outros dos debates. Assim, por exemplo, pode-se perceber a partir das falas apresentadas na Seção 7.2.2, que os licenciandos L1 e L2 foram os que tiveram o maior número de participações em classe. Contudo, é importante notar que a frequência das participações não constitui um indicativo da qualidade do engajamento, ou seja, se de fato ocorreu um engajamento reflexivo com os conteúdos discutidos. Como destacam autores presentes no referencial teórico, a qualidade do engajamento é um requisito para a ocorrência da aprendizagem (Dole & Sinatra, 1998). Assim, deve-se atentar para os diferentes níveis de engajamento, abarcando um espectro que vai desde o processamento superficial de informações (aprendizagem mecânica) até o nível do engajamento profundo que envolve reflexão metacognitiva, sendo que é neste último nível que uma aprendizagem significativa pode ocorrer.

De fato, mesmo tendo apresentado ampla participação (frequência de falas) o licenciando L1 manteve seu posicionamento de aceitação da controvérsia ao longo dos encontros. De fato, as falas do licenciando evidenciam algumas dificuldades conceituais,

seja com a física do efeito estufa ou com o conceito de controvérsia científica. Assim, para poder apresentar conclusões mais precisas sobre o nível de engajamento deste licenciando, haveria necessidade de investigar melhor a forma como este interagiu e refletiu sobre os textos e materiais fornecidos e discutidos nos encontros, possivelmente através de entrevistas. Por sua vez, o licenciando L2 também manteve seu posicionamento ao longo dos encontros, endossando o consenso científico. Neste caso, é possível notar a partir das falas do licenciando que este compreendeu de forma bastante aprofundada os conceitos envolvidos da física e da epistemologia, apresentando também um bom conhecimento histórico sobre o debate entre cientistas e céticos.

Em linhas gerais, o presente estudo descreve uma situação similar a de outros países, onde professores da educação básica, também apresentam dificuldade e confusão frente ao complexo tema do aquecimento global e mudanças climáticas, em especial, na interpretação das informações e argumentos que permeiam o tema (Plutzer, 2016).

Contudo, apesar dos resultados obtidos nesse estudo estarem, em nossa avaliação, aquém do que se desejava no contexto de uma educação voltada para a questão climática, o presente estudo deixa clara a necessidade existente de que esta temática e seus conceitos científicos relacionados sejam abordados de forma mais sistemática dos cursos de licenciatura da área de Ciências da Natureza. É importante lembrar que durante os encontros, ao serem questionados sobre uma explicação do efeito estufa, alguns licenciandos mencionaram as aulas do Ensino Médio como fonte de memória desse “conteúdo”.

Neste sentido, como ocorreu no Estudo 2, este estudo mostra que a formação inicial de professores não tem contemplado a educação ambiental, o conhecimento da física do efeito estufa, o debate histórico sobre aquecimento global antropogênico, bem como os aspectos epistemológicos associados (como controvérsia, consenso, argumentação). O entendimento destes temas é frágil e precisa ser repensado se quisermos que os futuros professores abordem essa temática, tão importante e tão emergente, nas salas de aula, na perspectiva de uma formação de cidadãos mais reflexivos e participativos.

Esta análise foi mais descritiva do que a procedida no Estudo 2, em função da dinâmica dos encontros, mas é importante destacar que tal dinâmica foi pensada seguindo

princípios identificados e discutidos no Estudo 1, estudo teórico, e levando em conta cuidados que o referencial teórico que adotamos norteava. Por exemplo, buscamos estimular os licenciandos a construir seus argumentos baseados no *scaffold* de argumentação, tentamos ser imparciais não emitindo nossa convicção pessoal, não oferecemos respostas imediatas às questões que foram aparecendo ao longo dos encontros, tentando gerar um ambiente de reflexão e busca de informações para uma tomada de posição pelos licenciandos.

Com respeito à questão de pesquisa pode-se observar que, embora alguns participantes tenham demonstrado uma melhora no domínio dos conceitos relacionados a base física do efeito estufa, natureza das controvérsias científicas e história da ciência do aquecimento global, bem como maior fundamentação de suas posições, outros participantes manifestaram dificuldade no domínio dos conteúdos abordados. Quanto à segunda parte da questão de pesquisa, para muitos participantes, o desacordo dos céticos constitui razão suficiente para levá-los a considerar a existência de uma controvérsia científica sobre aquecimento global, mesmo estes tendo participado das discussões históricas, epistemológicas anteriores.

Assim, um dos achados é que seria necessário um tempo mais estendido para aplicação da sequência; o segundo, é que embora tenhamos identificado idas e vindas nas posições e opiniões dos estudantes ao longo do processo (resultados do pré e pós teste), a formação de opiniões mais fundamentadas sobre “existe aquecimento global antropogênico” e “não há uma controvérsia científica em curso sobre AGA” também ficou evidente nas respostas de alguns participantes no pós teste. Todos os grupos construíram, a seu modo, contra-argumentos aos diferentes argumentos céticos, embora algumas posições pessoais tenham se mantido contrárias, ou seja, discordando da existência de um aquecimento global antropogênico como revelou o pós teste. Isto é tomado como um achado, ou seja, questões sociocientíficas são complexas e poucas semanas de discussão não são suficientes para demover crenças e concepções enraizadas. Neste sentido, espera-se que este estudo possa contribuir com ideias e orientações para que a inserção da temática do aquecimento global possa ocorrer gradualmente nos cursos de licenciatura, em especial, da licenciatura em Física.

## 8. CONCLUSÃO

A presente tese tratou da inserção da temática do aquecimento global e/ou mudanças climáticas na disciplina de Física, em especial, no contexto da formação de professores. Como visto, a complexidade inerente ao tema impõem uma considerável demanda e desafio do ponto de vista da educação. Preparar professores para tratar de temas ambientais complexos como aquecimento global envolve discutir conteúdos interdisciplinares que dialogam com diversas disciplinas das ciências naturais, bem como das ciências humanas. Ao mesmo tempo, é igualmente importante discutir não apenas conhecimentos sobre o conteúdo científico, mas também, conhecimentos relativos à natureza da ciência, em especial, aspectos relacionados à natureza das controvérsias científicas.

Na medida em que existe um grande desafio educacional para tratar desse tema de forma rigorosa e democrática, é preocupante que este tema ainda é pouco discutido nos cursos de licenciatura, em especial, na licenciatura em Física. Como já apontado, tal lacuna existente em sua formação é potencialmente prejudicial para uma discussão adequada do tema na sala de aula da Educação Básica. Neste sentido, a presente pesquisa buscou colaborar com o movimento de inserção desse tema sociocientífico na disciplina de Física.

Para tanto, partimos de um referencial teórico que discute o ensino e a aprendizagem de questões sociocientíficas. As recomendações da literatura a esse respeito são variadas, buscamos apresentar uma possível abordagem, partindo de um quadro de estruturação do ensino de questões sociocientíficas conforme discutido por Sadler & Murakami (2014). A partir dessa estruturação inicial, elencamos a dimensão epistemológica e a dimensão da aprendizagem como temas relevantes a serem considerados no tratamento de questões sociocientíficas. Finalmente, discutimos em maior profundidade a epistemologia das controvérsias científicas, a questão da autonomia intelectual do aluno e suas implicações pedagógicas frente a tópicos sociocientíficos controversos. Todos estes aspectos se revelaram essenciais para a realização dos três estudos apresentados.

O primeiro estudo realizado, Estudo 1, visou responder à questão de pesquisa:

*Quais são alguns dos principais conceitos físicos, temas epistemológicos e debates históricos relacionados à temática do aquecimento global e necessários para a introdução da temática na sala de aula de Física em cursos de licenciatura?*

Consideramos que o estudo realizado caminhou na direção de uma resposta bastante promissora para a questão de pesquisa, abrindo caminho para novos desenvolvimentos futuros sobre o assunto. Assim, acreditamos que a discussão sobre a física básica do efeito estufa, em especial, a discussão sobre temperaturas planetárias e balanço de energia da Terra contribui para que futuros professores possam vir a operacionalizar esses conceitos em sala de aula. Ao mesmo tempo, a discussão sobre a história da ciência do clima atende a uma lacuna existente relativa a materiais em língua portuguesa que abordem o tema, além de fornecer referências e fontes para pesquisas futuras, inclusive sobre o movimento cético, que em sua versão negacionista tem contribuído para gerar muita confusão e desinformação sobre o tema, dando origem ao que na literatura é conhecido por controvérsias científicas fabricadas. A esse respeito consideramos que o referencial teórico da presente pesquisa, na discussão sobre controvérsias científicas e sobre o que deve ser ensinado como controverso, também fornece elementos para a reflexão, seja para pesquisadores como para estudantes de graduação.

Com respeito ao segundo estudo realizado, Estudo 2, que envolveu a aplicação do questionário, foi possível confirmar a hipótese inicial, também averiguada em outros trabalhos identificados na revisão da literatura, de que existe uma considerável lacuna conceitual entre licenciandos e inclusive professores em exercício no que tange a explicação dos fenômenos do efeito estufa e aquecimento global. Neste sentido, consideramos que quanto à questão de pesquisa *quais as opiniões, concepções e entendimentos de licenciandos(as) e licenciados(as) em Física sobre temas como efeito estufa, aquecimento global e/ou mudanças climáticas?* este estudo forneceu importantes contribuições.

Destaque merece a explicação do efeito estufa, onde são manifestas as explicações alternativas que confundem os tipos de radiação envolvidos (visível, infravermelho, etc.), bem como a forma como essa radiação interage com o planeta e a atmosfera (reflexão,

absorção, reemissão). Neste sentido, encontramos aqui muito espaço para desenvolvimento de conteúdos e conceitos nos cursos de formação de professores, bem como a necessidade de abordar, de modo específico, as concepções alternativas identificadas. De fato, como visto na revisão da literatura, a pesquisa em ensino de Ciências tem colaborado para a elaboração de excelentes materiais para discutir a física básica do efeito estufa (também discutido no Estudo 1 aqui apresentado), e que podem ser explorados para discussão desse tema nos cursos de licenciatura.

Finalmente o terceiro estudo realizado, Estudo 3, que envolveu a aplicação de um módulo de ensino, teve o intuito de responder à questão de pesquisa: *Quais os resultados de uma proposta pedagógica com ênfase na dimensão epistemológica, científica e histórica da temática do aquecimento global em uma turma de licenciatura em Física? Quais os discursos de licenciandos em Física sobre a ciência do aquecimento global no contexto das polêmicas envolvendo os cientistas céticos do clima?*

Com respeito à primeira parte da questão, este estudo não permite uma resposta conclusiva e direta. Pensando primeiramente a partir de uma perspectiva teórica, oriunda dos referenciais teóricos sobre o ensino de questões sociocientíficas, continuamos considerando que estes três elementos, física básica do efeito estufa, história da ciência e epistemologia da controvérsia, constituem importantes dimensões para lidar com a problemática do aquecimento global e mudanças climáticas em sala de aula. No entanto, o estudo realizado revelou que a operacionalização desses três elementos em sala de aula não é tarefa simples. Em primeiro lugar, trata-se de temas não triviais e que, portanto, exigem um considerável engajamento do aluno para que este venha a compreendê-los. No presente estudo, estes temas foram desenvolvidos em dois encontros o que demonstrou ser insuficiente para que todos os participantes viessem a instrumentalizá-los adequadamente, embora alguns dos futuros professores tenham demonstrado excelente domínio dos mesmos.

Um comentário similar pode ser feito com respeito à própria natureza da problemática do aquecimento global. Na medida em que se trata de um tema complexo, com conceitos inerentes à discussão climática como balanço de energia, forçantes climáticas, albedo, ciclos de Milankovitch, etc., além de dialogar interdisciplinarmente

com outras áreas, o grande volume de informação abordado em curto espaço de tempo mostrou constituir um obstáculo que deve ser melhor balizado em estudos futuros, tendo em vista o objetivo último que é a aprendizagem.

Assim, embora alguns participantes tenham demonstrado uma melhora no domínio dos conceitos e uma melhor fundamentação das suas posições, outros participantes manifestaram dificuldades. Como já apontado, uma hipótese interpretativa diz respeito ao curto espaço de tempo e ao volume de tópicos que foi abordado na intervenção, dada a complexidade do tema. Neste sentido, ao mesmo tempo em que a proposta tem potencial, ela necessitaria uma reformulação no que tange à seleção dos conteúdos e à organização dentro de uma carga horária mais extensa. De fato, mesmo no que tange à Física básica do efeito estufa, haveria a necessidade de se prestar mais atenção às concepções alternativas manifestas no Estudo 2.

Por sua vez, com respeito à segunda parte da questão de pesquisa do Estudo 3, quando considerado o aspecto mais polêmico envolvendo o debate com os céticos, pode-se observar que o presente estudo lançou um olhar bastante interessante sobre a forma como os licenciandos interpretam e se apropriam do debate entre os cientistas da visão consensual e os chamados céticos. Para muitos participantes, o desacordo dos céticos constitui razão suficiente para levá-los a considerar a existência de uma controvérsia científica sobre aquecimento global, mesmo estes tendo participado das discussões históricas, epistemológicas anteriores.

Novamente aqui se pode constatar perplexidade por parte dos licenciandos diante do volume de argumentos e desdobramentos possíveis da temática. Assim, pode-se observar que alguns participantes manifestaram inquietação com a falta de um terreno mais sólido para orientar os seus posicionamentos. De fato, esta é uma reação usual que acontece sempre que adentramos ou começamos a investigar um tema ou assunto novo. Ou seja, na medida em que o pré-teste demonstrou que muitos dos participantes tinham pouco conhecimento da temática, e do debate envolvendo céticos, não constitui uma surpresa que durante os encontros alguns participantes tenham percebido o tema como altamente complicado e de difícil equacionamento.

Por sua vez, na medida em que o pré-teste também revelou a presença de opiniões

bastante arraigadas, seja para o lado do consenso ou para o lado da controvérsia, devemos necessariamente considerar, como discutido no referencial teórico, o papel das concepções prévias, preferências e valores dos participantes no processo de aprendizagem e interpretação das informações. Neste sentido, é importante lembrar que não apenas fatores cognitivos podem ter influenciado a aprendizagem, mas também, fatores motivacionais, afetivos e contextuais da sala de aula.

Com respeito à atividade de construção de contra-argumentos, a análise realizada indica que esta tem grande potencial para ser implementada no contexto da discussão da temática do aquecimento global, em especial, para abordar muitas das desinformações circulantes nos meios de comunicação e difundidas por cientistas céticos da vertente negacionista. Como visto no referencial teórico sobre questões sociocientíficas, a reconstrução do conhecimento relativo a tópicos sociocientíficos complexos requer o desenvolvimento de habilidades como o pensamento crítico e a capacidade de avaliar informações, em especial, a conexão entre evidência e hipótese. Neste sentido, a atividade de construir contra-argumentos é de grande importância, pois permite que o aprendiz tenha a oportunidade de conhecer os argumentos céticos, bem como buscar informações científicas confiáveis que forneçam respostas a tais argumentos. Embora essa atividade, como demonstrado na análise, não implique que o aluno se convença do argumento científico, ou contra-argumento desenvolvido, ela tem potencial para melhorar a capacidade crítica do aluno. De fato, com respeito a esse último aspecto, em implementações futuras dessa atividade deve-se prestar mais atenção para a construção de argumentos, enfatizando estruturas argumentativas e fornecendo exemplares de bons argumentos.

Com isso, espera-se que a presente tese de doutorado contribua para a reflexão, discussão e implementação de abordagens de ensino e aprendizagem voltadas para questões sociocientíficas, em especial, o tema do aquecimento global e mudanças climáticas. Como discutido na introdução, existe forte evidência e consenso entre cientistas e pesquisadores da área da educação de que estamos diante de um dos temas mais importantes da educação para o século XXI. Neste sentido, é de fundamental importância que os cursos de formação de professores atuem como fomentadores da discussão dessa temática na sociedade, visando à formação de cidadãos que compreendam a urgência do

tema e colaborem na busca de soluções à questão climática.

## 9. 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>
- Agresti, A., & Finlay, B. (2012). *Métodos estatísticos para as ciências sociais*. Porto Alegre: Penso.
- 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>.
- Andre, M. (2013). O que é um estudo de caso qualitativo em educação? *Educação e Contemporaneidade*, 22(40), 95-103.
- Agenda 21. (1992). *Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento*. Rio de Janeiro.
- Albe, V., & Gombert, M. (2018). Students' communication, argumentation and knowledge in a citizens' conference on global warming. *Cultural Studies of Science Education*, 7(3), 659-681.
- Andre, M. (2013). O que é um estudo de caso qualitativo em educação? *Educação e Contemporaneidade*, 22(40), 95-103.
- Archer, D. (2012). *Global Warming. Understanding the forecast*. John Willey & Sons, 2012.
- Arslan, H., Cigdemoglu, C., & Moseley, C. (2012). "A three-tier diagnostic test to assess pre-service teachers' misconceptions about global warming, greenhouse effect, ozone layer depletion, and acid rain". *International Journal of Science Education*, 34(11), 1667-1686.
- Arya, D., & Maul, A. (2016). The building of knowledge, language, and decision-making about climate change science: a cross-national program for secondary students. *International Journal Of Science Education*, 38(6), 885-904. doi: 10.1080/09500693.2016.1170227
- Auler, D., & Delizoicov, D. (2001). Alfabetização científico-tecnológica para quê? *Ensaio, Pesquisa em Educação em Ciências*, 3(1), 122-134.
- 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.
- Barbosa, L., Lima, M., & Machado, A. (2012). Controvérsias sobre aquecimento global: circulação de vozes discordantes e de sentidos produzidos em sala de aula. *Revista Ensaio*. 14(1), 113-130.
- Bardin, L. (2004). *Análise de conteúdo*. Lisboa: Edições 70.
- 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.
- Baxter, P., & Jack, S. (2008). Qualitative case study methodology: study design and implementation for novice researchers. *The Qualitative Report*, 13(4), 544-559.
- Belova, N., Eilks, I., & Feierabend, T. (2015). The Evaluation of Role-Playing in the Context of Teaching. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 13(1), 165–190.
- Berger, A., & Loutre, M. F. (2002). An Exceptionally Long Interglacial Ahead? *Science*, 297(5585), 1287-1288. <http://dx.doi.org/10.1126/science.1076120>
- Besson, U., De Ambrosis, A., & Mascheretti, P. (2010). Studying the physical basis of global warming: thermal effects of the interaction between radiation and matter and greenhouse effect". *European Journal of Physics*, 31(2), 375-388.
- Bodzin, A.; Klein, B., & Weaver, S. (Eds.). (2010). *The Inclusion of Environmental Education in Science Teacher Education*. London: Springer Dordrecht Heidelberg.
- Bodzin, A., & 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.
- 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>
- Braten, I., Stromso, H., & Vidal-Abarca, E. (2009). Personal epistemology across cultures: exploring Norwegian and Spanish university students' epistemic beliefs about climate change. *Social Psychology of Education*, 12(4), 529-560.
- Bryce, T., & Day, S. (2014). Scepticism and Doubt in Science and Science Education: The Complexity of Global Warming as a Socio-Scientific Issue. *Cultural Studies of Science Education*, 9(3), 599–632 .
- Busch, H. (2010). Using environmental science as a motivational tool to teach physics to non-science majors". *The Physics Teacher*, 48, 578-581.
- Buxton, G. (2014). The physics behind a simple demonstration of the greenhouse effect". *Physics Education*, 49(2), 171-175.
- Carifio, J., & Perla, r. (2007). Ten common misunderstandings, misconceptions, persistent myths and urband legends about likert scales and likert formats and theirs antidotes. *Journal of Social Sciences*, 3(3), 106-116.
- 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.
- Creswell, J. (2012) *Educational research: planning, conducting, and evaluating*

- quantitative and qualitative research*. Boston: Pearson.
- Creton, J., & Sthel, M. (2011). *A ciência do aquecimento global*. Rio de Janeiro: Faperj: Quartet.
- 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), 1-7. <http://dx.doi.org/10.1088/1748-9326/8/2/024024>
- Colucci-Gray, L. (2014). Beyond Evidence: A Critical Appraisal of Global Warming as a Socio-Scientific Issue and a Reflection on the Changing Nature of Scientific Literacy in School. *Cultural Studies of Science Education*, 9(3), p. 633-647.
- Constituição da República Federativa do Brasil de 1988*. Recuperado de [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Constituicao/Constituicao.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Constituicao/Constituicao.htm).
- Daly, H., & Farley, J. (2011). *Ecological economics: principles and applications*. Washington: Island Press.
- Dawson, V. (2015). Western Australian high school students' understanding about the socioscientific issue of climate change. *International Journal of Science Education*, 37(7), 1024-1043.
- Dias, G. (2004). *Educação ambiental: princípios e práticas*. São Paulo: Gaia.
- Dillon, J. (2003). On learners and learning in environmental education: missing theories, ignored communities. *Environmental Education Research*. 9(2), 215-226.
- Dole, J. & Sinatra, D. (1998). Reconceptualising change in the cognitive construction of knowledge. *Educational Psychologist*. v.33, n.2/3, 109-128.
- 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>
- Driver, R., Leach, J., Millar, R. & Scott, P. (1996). *Young people's images of science*. Bristol: Open University Press.
- Driver, R., Newton, P., & Osborne, J. (2000). Establishing the norms of scientific argumentation in classrooms. *Science Education*. 84(3), 287-312.
- Duschl, R. (2008). Science Education in Three-Part Harmony: Balancing Conceptual, Epistemic, and Social Learning Goals. *Review of Research in Education*, 32, 268-291.
- 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.
- Falk, J. (2005). Free-choice environmental learning: framing the discussion". *Environmental Education Research*, 11(3), 265 – 280.
- Fensham, P. (2014). Scepticism and Trust: Two Counterpoint Essentials in Science

- Education for Complex Socio-Scientific Issues. *Cultural Studies in Science Education*, 9(3), 649–661.
- Feierabend, T., Stuckey, M., Nienaber, S., & Eilks, I. (2012). Two Approaches for Analyzing Students' Competence of "Evaluation" in Group Discussions about Climate Change- *International Journal of Environmental and Science Education*, 7(4), 581-598.
- Feldman, R., & Warfield, T. (Eds.). (2010). *Disagreement*. New York: Oxford University Press.
- Figueiredo Filho, D., & Silva Júnior, J. (2010). Visão além do alcance: uma introdução à análise fatorial. *Opinião Pública*, 16(1), 160-185.
- Fleming, J. (1998). *Historical Perspectives on Climate Change*. New York: Oxford University Press.
- Flener-Lovitt, C. (2014). Using the Socioscientific Context of Climate Change to Teach Chemical Content and the Nature of Science. *Journal of Chemical Education*, 91(10), p. 1587–1593.
- 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: Eengelhard, H. & Caplan, A. (Orgs.). *Scientific controversies: case studies in the resolution and closure of disputes in science and technology*. (pp. 203-248.). Cambridge: Cambridge University Press.
- Freire, P. (1996). *Pedagogia da autonomia: saberes necessários à prática educativa*. São Paulo: Paz e Terra.
- Freire, P. (2018). *Pedagogia do oprimido* – 66. ed. São Paulo: Paz e Terra.
- 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.
- Fukuhara, A., Kaneko, F., & Ogawa, N. (2012). Simple model of a photoacoustic system as a CR circuit". *European Journal of Physics*, 33(3), 623-635.
- Gadotti, M.(2008). *Educar para a sustentabilidade: uma contribuição à década da educação para o desenvolvimento sustentável*. São Paulo: Editora e Livraria Instituto Paulo Freire.
- Gautier, C. (2012). A New Type of Debate for Global Warming and Scientific Literacy. *Cultural Studies of Science Education*. 7(3), 683-691.
- González-Gaudiano, E. (2005). Interdisciplinaridade e educação ambiental: explorando novos territórios epistêmicos. In: Sato, M., & Carvalho I. (orgs.). *Educação ambiental: pesquisa e desafios*. Porto Alegre: Artmed.
- 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). Frankfurt: 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>
- Hardwig, J. (1985). Epistemic dependence. *The Journal of Philosophy*, 82, 335-349.
- Hardwig, J. (1991). The role of trust in knowledge. *The Journal of Philosophy*, 88, 693-708.
- Harker, D. (2015). *Creating scientific controversies: uncertainty and bias in science and society*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Herman, B., Feldman, A., & Vernaza-Hernandez, V. (2017). Florida and Puerto Rico Secondary Science Teachers' Knowledge and Teaching of Climate Change Science. *International Journal of Science and Mathematics Education*. 15(3), 451–471.
- Hodson, D. (2018). Realçando o papel da ética e da política na educação científica: algumas considerações teóricas e práticas sobre questões sociocientíficas. In: Conrado, D. & Nunes-Neto, N. (Orgs.). *Questões Sociocientíficas: fundamentos, propostas de ensino e perspectivas para ações sociopolíticas*. Salvador: Edufba.
- Houghton, J. (2009). *Global warming: the complete briefing*. 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/cmsstech/387/387i.pdf>.
- Hulme, M. (2009). *Why we disagree about climate change: understanding controversy, inaction and opportunity*. New York: Cambridge University Press.
- Gautier, C., Deutsch, K., & Rebich, S. (2006). Misconceptions about the greenhouse effect. *Journal of Geoscience Education*, v.54, n.3, 386-395.
- González-Gaudiano, E. (2005). Interdisciplinaridade e educação ambiental: explorando novos territórios epistêmicos. In: Sato, M., & Carvalho I. (orgs.). *Educação ambiental: pesquisa e desafios*. Porto Alegre: Artmed.
- Hagevik, R., Jordan, C., & Wimert, D. (2015). A phenomenographic study of beginning elementary science teachers' conceptions of sustainability. In: Stratton, et, al. (Eds.). *Educating science teachers for sustainability*. London: Springer Dordrecht Heidelberg.
- Hestness, E., McGinnis, R., & Breslyn, W. (2015). Integrating sustainability into science teacher education through a focus on climate change. In: Stratton, et, al. (Eds.). *Educating science teachers for sustainability*. London: Springer Dordrecht Heidelberg.
- 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 [Houghton, J. T., Meira Filho, L. G., Callander, B. A., Harris, N., Kattenberg, A., and Maskell, K. (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 [Houghton, J.T., Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, and 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 [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and 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>
- Jin, H., Johnson, M., & Yestness, N. (2015). A learning progression approach to incorporate climate sustainability into science education. In: Stratton, et, al. (Eds.). *Educating science teachers for sustainability*. London: Springer Dordrecht Heidelberg.
- 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.
- Kaneko, F., Mojushiro, H., Nishyama, M., & Kasai, T. (2010). Photoacoustic experimental system to confirm infrared absorption due to greenhouse gases. *Journal of Chemical Education*. 87(2), 202-204.
- Karpudewan, R., & Bin Abdullah, M. (2015). Enhancing Primary School Students' Knowledge about Global Warming and Environmental Attitude Using Climate Change Activities. *International Journal of Science Education*, 7, p.31-54.
- Kelly, T. (2010). Peer disagreement and higher order evidence. In R. Feldman, & T. Warfield (Eds.). *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.
- Lacis, A., Schmidt, G., Rind, D., & Ruedy, R. (2010). Atmospheric CO<sub>2</sub>: principal control knob governing earth's temperature. *Science*, 330(6002), 356-359.
- Lambert, J., & Bleicher, R. (2017). Argumentation as a strategy for increasing preservice teachers' understanding of climate change, a key global socioscientific issue. *International Journal of Education in Mathematics, Science and Technology*, 5(2), 101-112.
- 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.
- Latour, B. (2004). Why has critique run out of steam? From matters of fact to matters of concern. *Critical Inquiry*, 30(2), 225-248.
- Leff, H. (2002). *Epistemologia ambiental*. São Paulo: Cortez.
- Le Treut, H., Somerville, R., Cubasch, U., Ding, Y., Mauritzen, C., Mokssit, A., Peterson, T., & Prather, M. (2007): *Historical Overview of Climate Change*. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. Acesso em 10 jan., 2018, <https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-chapter1.pdf>.
- Lei n.9394, de 20 de Dezembro de 1996. Estabelece as Diretrizes e Bases da Educação Nacional. Recuperado de [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/LEIS/L9394.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9394.htm).
- Lei n.9.795, de 27 de Abril de 1999. Dispõe sobre a educação ambiental, institui a Política Nacional de Educação Ambiental e dá outras providências. Recuperado de [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/LEIS/L9795.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9795.htm).
- Lei n.12.187, de 29 de Dezembro de 2009. Institui a Política Nacional de Mudança do Clima – PNMC e da outras providências. Recuperado de [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2009/lei/112187.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/112187.htm).
- 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>.
- Levinson, R. (2012). A Perspective on Knowing about Global Warming and a Critical Comment about Schools and Curriculum in Relation to Socio-Scientific Issues. *Cultural Studies of Science Education*. 7(3), p.693-701.
- Levinson, R. (2008). A theory of curricular approaches to the teaching of sócio-scientific issue. *Alexandria Revista de Educação em Ciência e Tecnologia*, 1(1), 2008. 133-151.
- Lissauer, J., & Pater, I. (2013). *Fundamental planetary science: physics, chemistry and habitability*. New York: Cambridge University Press.

- Lobato, A., Silva, C., Lago, R., Cardeal, Z., & Quadros, A. (2009). Dirigindo o olhar para o efeito estufa nos livros didáticos de ensino médio: é simples entender esse fenômeno?. *Revista ensaio*, 1(1), 07-24.
- 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>
- Lobato, A., da Silva, C., Lago, R., Cardeal, Z., & Quadros, A. (2009). Dirigindo o olhar para o efeito estufa nos livros didáticos de ensino médio: é simples entender esse fenômeno?. *Ensaio*, 11(1), 7-24.
- Lombardi, D., & Sinatra, G. (2012). College Students' perceptions about the plausibility of human induced climate change. *Research in Science Education*, 42(2), 201-217.
- Lombardi, D., & Sinatra. (2013). Emotions about teaching about human-induced climate change. *International Journal of Science Education*, 35(1), 167-191.
- Lombardi, D., Sinatra, G., & Nussbaum, M. (2013). Plausibility reappraisals and shifts in middle school students' climate change conceptions. *Learning and Instruction*, 27, 50-62.
- Lombardi, D., Brandt, C. Bickel, E., & Burg C. (2016). Students' evaluations about climate change. *International Journal of Science Education*. 38(8), 1392-1414.
- 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](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.
- Magalhães, M. (2014). Aquecimento global: uma abordagem para o ensino de Física. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 36(4). Recuperado de <http://www.scielo.br/pdf/rbef/v36n4/v36n4a19.pdf>
- Mayer, V. (1995). Using the earth system for integrating the science curriculum. *Science Education*, 79(4), 375-391.
- 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>
- Merriam, S. (2009). *Qualitative research: a guide to design an implementation*. San Francisco: John Wiley & Sons.
- Meyers, R. (2006). Environmental learning: reflections on practice, research an theory". *Environmental Educatin Research*. 12(3/4), 459 – 470.
- Mcdonal, J. & Dominguez, L. "Professional Preparation for Science Teachers in Environmental Education". BODZIN, et, al. (Eds.). *The Inclusion of Environmental Education in Science Teacher Education*. London: Springer Dordrecht Heidelberg, 2010.
- McNeal, P., Petcovic, H., & Reeves, P. (2017). What Is Motivating Middle-School Science Teachers to Teach Climate Change? *International Journal of Science Education*. 39(8), 1069-1088.
- Miller, T., & Spoolman, S. (2015). *Ciência ambiental*. São Paulo: Cengage Learning.
- Moraes, E. Curriculum tendencies in Brazil. In: Pinar, W. (ed.) *International handbook of curriculum research*. (2 ed.). New York: Routledge, 2014.
- Moseley, C. Desjean-Perrota, B., & Crim, C. (2010). Exploring preservice teacher's models of the environment. In: Bodzin, A., Klein, B., & Weaver, S. (Eds.). *The Inclusion of Environmental Education in Science Teacher Education*. London: Springer Dordrecht Heidelberg.
- 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>.
- Nibert, 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.
- Nguyen, P. & Matzner, R. (2012). Greenhouse effect: temperature of a metal sphere surrounded by a glass shell and heated by sunlight. *European Journal of Physics*, 33(1), 91-99.
- Nolet, V. (2009). Preparing sustainability-literate teachers. *Teachers College Record*, 111(2), 409–442.
- Norris, S. (1995). Learning to Live with Scientific Expertise: Toward a Theory of Intellectual Communalism for Guiding Science Teaching. *Science Education*. 79(20), 201-217.
- Novak, J. (1977). *A theory of education*. Ithaca, N. Y.: Cornell University Press.
- 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.
- Onorato, P., Mascheretti, P., & De Ambrosis, A. (2011). 'Home made' model to study greenhouse effect and global warming, *European Journal of Physics*. 32, 363-376.
- Orr, D. (1992). *Ecological Literacy: Education and the Transition to a Postmodern World*. New York: Suny Press.
- Oxburgh, R. (Lord). *Science Assessment Panel*. (2010). Recuperado de <http://www.uea.ac.uk/mac/comm/media/press/CRUstatements/SAP>
- Pasquali, L.(2013). *Psicometria: teoria dos testes na psicologia e na educação*. Petrópolis: Editora Vozes.
- Pearce, F. (2010). *The climate files*. London: Guardian Books.
- Pedretti, E. & Nazir, J. (2011). Currents in STSE education: mapping a complex field, 40 years on. *Science Education*, 95(4), 601-626.
- Pereira dos Santos, W. (2014). Debate on Global Warming as a Socio-Scientific Issue: Science Teaching towards Political Literacy. *Cultural Studies of Science Education*. 9(3), 663-667.
- 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. (2004). Warming the world: Greenhouse effect: Fourier's concept of planetary energy balance is still relevant today. *Nature*, 432(677).
- Pierrehumbert, R. (2011). Infrared radiation and planetary temperature. *Physics Today*, 64(1), 33-38.
- 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.
- Pintrich, P., Marx, R. & Boyle, R. (1993). Beyond cold conceptual change: the role of motivational beliefs and classroom contextual factors in the process of conceptual change. *Review of Educational Research*, 63(2), 167-199.
- 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>.
- Plutzer, E., McCaffey, M., Hannah, L., Rosenau, J., Berbeco, M., & Reid, A. (2016). Climate confusion among U.S. teachers: teachers' knowledge and values can hinder climate education. *Science Education*, 351(6274), 664-665.
- Presley, M., Sickel, A., Muslu, N., Merle-Johnson, D., Witzig, S., Izci, K., & Sadler, T. (2013). A framework for socio-scientific issue based education. *Science Educator*, 22(1), 26-32.
- Ratinen, I. (2013). Primary student-teachers' conceptual understanding of the greenhouse effect: a mixed method study. *International Journal of Science Education*, 35(6), 929-

955.

- Reinfried, S. & Tempelmann, S. (2014). The impact of secondary school students' preconceptions of the evolution of their mental models of the greenhouse effect and global warming. *International Journal of Science Education*, 36(2), 304- 333.
- Reigota, M. (2009). *O que é educação ambiental?* (2ª ed.). São Paulo: Brasiliense.
- Reis, D. A., & Silva, L. F. Análise de dissertações e teses brasileiras de educação ambiental: compreensões elaboradas sobre o tema “mudanças climáticas”. *Ciência & Educação*, 22(1), 145-162. Recuperado de [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1516-73132016000100145&lng=pt&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-73132016000100145&lng=pt&tlng=pt).
- Resolução, n.2 de 15 de Junho de 2012. Estabelece as Diretrizes Curriculares Nacionais para a Educação Ambiental. Recuperado de <http://conferenciainfanto.mec.gov.br/images/conteudo/iv-cnijma/diretrizes.pdf>.
- Ribeiro, R.A., & Kawamura, M. R. (2014). Educação ambiental e temas controversos. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 14(2), 159-169.
- Rickinson, M., Lundholm, C., & Hopwood, N. (2009). *Environmental Learning. Insights from research into the student experience*. New York: Springer.
- 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.
- Sauvé, L. (2005). Uma cartografia das correntes em educação ambiental. In: Sato, M., & Carvalho I. (orgs.). *Educação ambiental: pesquisa e desafios*. Porto Alegre: Artmed.
- Sharma, A. (2012). Global climate change: what as science education got to do with it? *Science & Education*, 21(1), p.33-53.
- Shed e Bearman. (2010). The temporal Strcuture of Scientific Consensus Formation. *American Sociological Review*. 75(6). 817-840. <https://doi.org/10.1177/0003122410388488>
- Silveira, F (1993). Validação de instrumentos de medida aplicados à pesquisa em Ensino de Física. Recuperado de [https://www.if.ufrgs.br/~lang/Textos/Validacao\\_de\\_testes.pdf](https://www.if.ufrgs.br/~lang/Textos/Validacao_de_testes.pdf).
- Solomon, M. (2001). *Social empiricism*. Massachusetts: The MIT Press.
- Steup, M. (1996). *An introduction to contemporary epistemology*. New Jersey: Printice Hall.
- Stratton, S., Hagevik, R., Feldaman, A., & Bloom, M. (Eds.). (2015). *Educating science*

- teachers for sustainability*. London: Springer Dordrecht Heidelberg.
- Tardif, M. (2014). *Saberes docentes e formação profissional*. Petrópolis: Editora Vozes.
- Tasquier, G., Levrine, O. & Dillon, J. (2016). Exploring Students' Epistemological Knowledge of Models and Modelling in Science: Results from a Teaching/Learning Experience on Climate Change. *International Journal of Science Education*, 38(4), 539-563.
- Tasquier, G., & Pongiglione, F. (2017). The Influence of Causal Knowledge on the Willingness to Change Attitude towards Climate Change: Results from an Empirical Study. *International Journal of Science Education*, 39(13), 1846-1868.
- Tavakol, M., & Dennick, R. (2011). Making sense of Cronbach's alfa. *International Journal of Medical Education*, 2, 53-55.
- Taylor, F. W. (2005). *Elementary climate physics*. Oxford: Oxford University Press.
- Tilbury, D. (1995). Environmental Education for Sustainability: defining the new focus of environmental education in the 1990s. *Environmental Education Research*, 1(2), 195-212.
- Tolentino, R., & Rocha-Filho, R. A (1998). Química no efeito estufa. *Química nova na escola*. (8). Recuperado de <http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc08/quimsoc.pdf>.
- Unesco. (1977). *Intergovernmental Conference on Environmental Education*. Tbilisi, URSS.
- Unesco. (1980). *Environmental education in the light of the Tbilisi conference*. Paris: Unesco.
- Vosniadou, S. (2003). Exploring the relationships between conceptual change and intentional learning. In: Sinatra, G. & Pintrich, P. (Eds.). *Intentional Conceptual Change*. London: Lawrence Erlbaum Associates Publishers.
- Washington, H., & Cook, J. (2011). *Climate change denial: heads in the sand*. New York: Taylor & Francis.
- Walsh, E., & McGowan, V. (2016). Let Your Data Tell a Story: Climate Change Experts and Students Navigating Disciplinary Argumentation in the Classroom. *International Journal of Science Education*, 39(1), 20-43.
- 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](http://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](https://library.wmo.int/pmb_ged/wmo_537_en.pdf).
- Xavier, M. E., & Kerr, A. S. (2004). A análise do efeito estufa em textos paradidáticos e periódicos jornalísticos. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*. 21(31), 325-349.

Yazan, B. (2015). Three approaches to case study methods in education: Yin, Merriam, and Stake. *The Qualitative Report*, 20(2), 134-152.

## Apêndice A: Questionário utilizado no Estudo 2

### *Pesquisa de Opinião sobre Temas Ambientais*

Descrição: O presente questionário tem por finalidade averiguar opiniões e entendimentos de professores e licenciandos em Física (e áreas afins do ensino de Ciências) sobre temas ambientais como efeito estufa e aquecimento global. O questionário é parte de uma pesquisa de doutorado do programa de Pós-Graduação em Ensino de Física (Ufrgs).

Instruções para preenchimento e esclarecimentos:

1. O questionário é composto por questões abertas (6 questões dissertativas) e questões fechadas (9 questões objetivas).
2. Pedese que o preenchimento seja feito sem auxílio a nenhuma fonte de consulta.
3. Não haverá identificação do respondente, assegurando o anonimato.
4. Os resultados dessa pesquisa são para fins exclusivamente acadêmicos.
5. Este não é um teste avaliativo, responda-o de acordo com o seu conhecimento e opinião sobre o assunto.

Desde já agradecemos a sua colaboração, ela é muito importante para realização da presente pesquisa.

### **INFORMAÇÕES GERAIS**

1. Idade: \_\_\_\_\_.
2. Formação: \_\_\_\_\_.
3. Exerces a docência? \_\_\_\_\_.
- 3.1 Em qual nível? \_\_\_\_\_.
- 3.2 Escola pública ou privada? \_\_\_\_\_.
4. Tempo de docência: \_\_\_\_\_.

### **A. Questões Abertas**

Nas questões Q1 e Q2 expresse com suas próprias palavras o seu entendimento sobre os temas do efeito estufa e aquecimento global. Na questão Q3 pede-se por uma resposta com base em sua experiência docente em sala de aula.

**Q1.** Explique o que é o efeito estufa.

**Q2.** O que você entende por aquecimento global? Na sua opinião ele está ocorrendo? Por que (ou por que não)?

**Q3.** Você já tratou da temática do efeito estufa e aquecimento global em suas aulas de Física (se sim, em que contexto)? Consideras apropriado tratar desses temas nas aulas de Física? Por que (ou por que não)?

### B. Questões em Escala Likert

Nas questões Q4 a Q11 indique a sua opinião a respeito de cada sentença abaixo. Considere a escala de 1 até 10 como sendo:

0 = Discordo Fortemente

5 = Não Concordo nem Discordo

10 = Concordo Fortemente

**Q4.** Desde o começo da revolução industrial, por volta de 1750, as ações humanas, principalmente a queima de combustíveis fósseis, levaram a aumentos significativos nas concentrações de gases de efeito estufa.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Discordo Fortemente	<input type="radio"/>	Concordo Fortemente										

**Q5.** O aquecimento global está ocorrendo. Nas últimas décadas tem-se observado que a atmosfera e os oceanos estão aquecendo, que a cobertura de gelo e neve tem diminuído e que o nível do mar tem aumentado.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Discordo Fortemente	<input type="radio"/>	Concordo Fortemente										

**Q6.** Não existe aquecimento global. Não há evidências científicas que indiquem que a Terra esteja aquecendo.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Discordo Fortemente	<input type="radio"/>	Concordo Fortemente										

**Q7.** No passado a Terra passou por diversos ciclos naturais de aquecimento e resfriamento. Assim, muito provavelmente o aquecimento global observado recentemente seja devido a um ciclo natural.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Discordo Fortemente	<input type="radio"/>	Concordo Fortemente										

**Q8.** É extremamente provável que as emissões humanas de gases de efeito estufa sejam o principal fator responsável pelo aquecimento global observado a partir da segunda metade do século XX.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Discordo Fortemente	<input type="radio"/>	Concordo Fortemente										

**Q9.** A ação do homem é muito pequena quando comparada com as forças naturais (Sol, Vulcões, etc.) que regulam o clima da Terra. Logo, a influência do homem sobre o clima é desprezível.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Discordo Fortemente	<input type="radio"/>	Concordo Fortemente										

**Q10.** O aumento da concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera, devido a queima de combustíveis fósseis, é o principal fator causador do aquecimento global.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Discordo Fortemente	<input type="radio"/>	Concordo Fortemente										

**Q11.** A existência de um aquecimento global causado pela ação do homem é ainda uma matéria de ampla disputa na comunidade científica, não havendo consenso científico a respeito.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Discordo Fortemente	<input type="radio"/>	Concordo Fortemente										

### C. Questões de Múltipla Escolha e Aberta

As questões Q12 a Q14 são de múltipla escolha, assinale a alternativa que você julga ser a melhor resposta. A questão Q15 é aberta, dissertativa.

**Q12.** Qual das alternativas abaixo melhor representa o seu entendimento sobre o comportamento do clima da Terra?

- a) O clima da Terra é muito estável, o aquecimento global teria pouco ou nenhum efeito sobre o clima.
- b) O clima da Terra é estável dentro de certos limites, com um aquecimento global pequeno o clima atingirá um novo equilíbrio estável, mas se o aquecimento for grande efeitos imprevisíveis e perigosos surgirão.
- c) O clima da Terra é caótico e imprevisível. Nós não sabemos o que irá acontecer.
- d) O clima da Terra possui um equilíbrio delicado, um pequeno aquecimento do planeta pode levar a mudanças abruptas no clima, com efeitos catastróficos.
- e) O clima da Terra muda de forma lenta. Um aquecimento global conduzirá a uma mudança gradual do clima.

**Q13.** Qual a sua percepção sobre o status científico da pesquisa sobre aquecimento global antropogênico?

- a) É uma área de pesquisa ainda em fase de consolidação. Os dados e evidências ainda são controversos de modo que não há consenso entre cientistas sobre se o aquecimento global está ocorrendo e se é causado pelo homem.
- b) É uma área de pesquisa historicamente consolidada, com sólidas evidências acumuladas. A questão da existência de um aquecimento global causado pelo homem já é consenso na comunidade científica.
- d) É uma área de pesquisa complexa com muitas incertezas envolvidas. Ainda não sabemos se o homem afeta o clima do planeta, mais pesquisas são necessárias para responder a questão.
- e) É uma área de pesquisa complexa com muitas incertezas envolvidas. Contudo, diversos aspectos básicos do funcionamento do clima já são conhecidos, de modo que cientistas já sabem que o homem está afetando o clima do planeta.

**Q14.** Na sua opinião, qual das alternativas abaixo melhor descreve a natureza do conhecimento científico?

- a) Conhecimento científico é falível: empiricamente corroborado. Resultado da confrontação entre teoria e experiência, mas passível de revisão futura.
- b) Conhecimento científico é infalível: empiricamente comprovado. Resultado da confrontação entre teoria e experiência e imune ao erro.
- c) Conhecimento científico é falível: construído socialmente. Resultado de processos de discussão crítica que levaram a um consenso da comunidade científica, mas passível de revisão futura.
- d) Conhecimento científico é arbitrário: determinado por fatores sociais. Resultado de disputas de poder e interesses por parte de grupos e membros da comunidade científica.

**Q15.** Na sua opinião, como podemos distinguir o conhecimento científico legítimo de uma alegação sem fundamentação científica? Ou seja, como distinguir entre a "boa ciência" (trabalho científico de qualidade) e a "má ciência" (trabalho de baixa qualidade, sem fundamentação científica)?

## **Apêndice B: Proposições de conhecimento empregadas na formulação do questionário**

1. Sustentabilidade é a capacidade dos diversos sistemas da Terra, incluindo as economias e os sistemas culturais humanos, de sobreviver e se adaptar às condições ambientais indefinidamente em mudança. Uma sociedade sustentável do ponto de vista ambiental é aquela que se compromete com as necessidades de recursos básicos atuais e futuros das pessoas de forma justa e equitativa, sem comprometer a capacidade das futuras gerações de cumprir com essas necessidades básicas. (Miller, 2016).
2. Aquecimento global e mudanças climáticas constituem um problema ambiental na medida que colocam em risco a sustentabilidade dos sistemas da Terra, incluindo os sistemas naturais e humanos.
3. Aquecimento global é o aquecimento da atmosfera inferior (troposfera) da Terra causado pelo aumento das concentrações de um ou mais gases de efeito estufa. (Miller, 2016)
4. Mudança climática constitui uma variação estatisticamente significativa no estado médio do clima ou em sua variabilidade, que persiste por um período prolongado, geralmente de décadas ou mais. (Barry & Chorley, 2013)
5. Clima é o comportamento de longo prazo e consistente do tempo meteorológico, abrangendo períodos de pelo menos três décadas à milhares de anos. (Christopherson, 2012; Miller, 2016)
6. Tempo meteorológico é a condição da atmosfera em curto espaço de tempo, período de horas há dias, envolvendo medidas de temperatura, pressão do ar, umidade relativa, direção e velocidade do vento e direção, duração do dia e radiação solar incidente. (Christopherson, 2012; Miller, 2016)
7. Efeito estufa é o processo natural que ocorre numa atmosfera planetária devido a presença de gases ativos radioativamente na faixa de comprimentos de onda longos (infravermelho) como dióxido de carbono, vapor d'água, metano e CFCs. Parte da radiação infravermelha emitida pela superfície da Terra é absorvida pelos gases estufa, retardando a perda de infravermelho para o espaço e tornando a baixa atmosfera mais quente do que na ausência dos gases estufa. (Miller, 2016; Barry & Chorley, 2013; Christopherson, 2012).
8. Gases estufa são gases ativos radioativamente na faixa de comprimentos de onda longos, ou seja, absorvem e emitem energia na faixa do comprimento de onda do infravermelho. Entre os principais gases de efeito estufa estão o vapor d'água, dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), ozônio (O<sub>3</sub>), clorofluorcarbonetos (CFCs: CFCl<sub>3</sub>, CFCL<sub>2</sub>) e halocarbonetos hidrogenados (HFC e HCFC). (Barry & Chorley, 2013)
9. A atmosfera terrestre é composta basicamente de 78,08 % de Nitrogênio, 20,95 % de Oxigênio, os restantes (menos de 1%) são os chamados gases-traço, entre os quais estão principalmente o argônio e os gases de efeito estufa. (Barry & Chorley, 2013)
10. A temperatura média da atmosfera (troposfera) da Terra é de aproximadamente 288 K, sem a presença de gases estufa a Terra seria cerca de 33 K mais fria. (Lissauer & Pater, 2013)

11. Com uma temperatura de 288 K a superfície terrestre tem seu pico de emissão na faixa do infravermelho em torno de 10  $\mu\text{m}$ , enquanto o Sol, com temperatura superficial de aproximadamente 6000 K, tem seu pico de emissão na faixa do visível em torno de 480 nm.
12. A principal banda de absorção do  $\text{CO}_2$  encontra-se na faixa de comprimento de onda de 14 a 16  $\mu\text{m}$ . (Barry & Chorley, 2013)
13. A queima de combustíveis fósseis (carvão, petróleo e gás natural) constitui uma das principais fontes de emissões antropogênicas de  $\text{CO}_2$  na atmosfera. (Archer, 2012)
14. As modernas medidas de  $\text{CO}_2$  na atmosfera iniciaram com o trabalho do oceanógrafo Charles David Keeling, especialmente no ano de 1958 no Observatório do Monte Mauna Loa Hawaii. (Weart, 2017)
15. Entre o período pré-industrial (1750) até os dias atuais (2016), a concentração de  $\text{CO}_2$  na atmosfera aumentou de 280 ppm para 400 ppm. (Barry & Chorley, 2013)
16. O aumento da concentração de  $\text{CO}_2$  na atmosfera é um dos principais causadores do aquecimento global. (Barry & Chorley, 2013)
17. Sensibilidade climática representa o aumento da temperatura média do planeta supondo que a concentração de  $\text{CO}_2$  na atmosfera dobre em relação aos níveis pré-industriais (280 ppm). Estima-se que a sensibilidade do clima da Terra esteja entre 2 a 5 graus. (Archer, 2012; Barry & Chorley, 2013)
18. O primeiro cientista a calcular a sensibilidade do clima da Terra foi Svante Arrhenius em 1896. (Weart, 2017)
19. Ozônio na baixa atmosfera (troposfera), além de agir como gás de efeito estufa, constitui um poluente prejudicial a saúde humana. (Archer, 2012)
20. O Ozônio na alta atmosfera (estratosfera) é um agente de proteção contra a radiação ultravioleta proveniente do Sol. A destruição da camada de ozônio da estratosfera, devido a ação de clorofluorcarbonetos, constitui o problema ambiental denominado de “buraco do ozônio”. (Archer, 2012)
21. As emissões antropogênicas de gases de efeito estufa tem aumentado desde o período pré-industrial (1750), em grande medida devido ao crescimento econômico e populacional, conduzindo a um aumento da concentração desses gases na atmosfera sem precedentes nos últimos 800.000 anos. (IPCC, 2014)
22. O aquecimento do sistema climático é inequívoco. Desde 1950 tem-se observado que a atmosfera e os oceanos estão aquecendo, que a cobertura de gelo e neve tem diminuído e que o nível do mar tem aumentado. (IPCC, 2014)
23. É extremamente provável que as emissões antropogênicas de gases de efeito estufa estão entre os principais fatores responsáveis pelo aquecimento global observado a partir da segunda metade do século XX. (IPCC, 2014)
24. Antes de 1990 a visão dominante entre cientistas do clima era de que as mudanças climáticas ocorriam de forma lenta e gradual, contudo nas últimas décadas surgiram fortes evidências paleoclimáticas de que o clima pode mudar abruptamente quando determinados limites de estabilidade são excedidos. (National Research Council, 2002)

25. Cerca de 97 % dos cientistas que publicam em revistas especializadas da área climática concordam que existe um aquecimento global antropogênico. (Oreskes, 2004; Anderegg, 2010)



### Apêndice D: Pós-tese utilizados no Estudo 3

#### *Pós-teste: Percepção do debate científico sobre aquecimento global*

Abaixo seguem novamente as questões Q1 e Q2. Responda-as com base na sua opinião atual sobre o tema.

A questão Q3 pergunta sobre se a sua opinião mudou ou se continua a mesma depois das discussões realizadas no encontro.

Lembrando que a questão Q1 e Q3 são dissertativas. A questão Q2 está na forma *likert*. Considere a escala de 1 até 10 como sendo:

0 = Discordo Fortemente

5 = Não Concordo nem Discordo

10 = Concordo Fortemente

Obs.: Este questionário não tem nenhuma finalidade avaliativa. Não há identificação do respondente, assegurando o anonimato. Os resultados serão usados exclusivamente para fins acadêmicos.

**Q1.** Na sua opinião, existe uma controvérsia científica em curso sobre as causas do aquecimento global? Ou seja, sobre se o aquecimento global é de origem natural ou se é causado pela ação do homem? Por quê?

**Q2.** A existência de um aquecimento global causado pela ação do homem é ainda uma matéria de ampla disputa na comunidade científica, não havendo consenso científico a respeito.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Discordo Fortemente	<input type="radio"/>	Concordo Fortemente										

**Q3.** Considerando a sua opinião sobre o assunto antes e depois dos encontros e discussões em aula, a sua opinião mudou ou continua a mesma? Por quê?

Caso queiras fazer algum comentário ou deixar alguma sugestão sobre os encontros, utilize o espaço abaixo.

### Apêndice E: Texto sobre controvérsias científicas utilizados no Estudo 3

#### *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 clássica<sup>127</sup> 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 empírico<sup>128</sup> 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:

---

<sup>127</sup> 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).

<sup>128</sup> Solomon (2001) argumenta que o objetivo mais geral da ciência é o sucesso empírico.

[...] 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. [...] 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 autênticas<sup>129</sup>. 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

---

<sup>129</sup> 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.

tectônicas pelo geólogo russo Belousov (Lugg, 1978), a resistência de Priestley frente à nova teoria do oxigênio de Lavousier (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 “crítico 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 epistêmicos<sup>130</sup> compartilhadas pela comunidade), um dos lados da disputa desfruta de uma reconhecida vantagem em sua capacidade de responder às questões relevantes<sup>131</sup>. 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)<sup>132</sup>. 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 extremamente delicado.

---

<sup>130</sup> 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).

<sup>131</sup> 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.

<sup>132</sup> 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.

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 cuidadosa<sup>133</sup>.

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.

## Referências

- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- Hakli, Raul. (2011). On dialectical justification of group beliefs". In: H. B. Schmid; D. Sirtes, & M. Weber. (Orgs.). *Collective epistemology*. (pp.119-153). Frankfurt: Ontos.
- Kelly, T. (2010). Peer disagreement and higher order evidence. In R. Feldman, & T. Warfield (Orgs.). *Disagreement*. (pp.111-174). New York: Oxford University Press.
- 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.
- 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-

---

<sup>133</sup> 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.

292.

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.

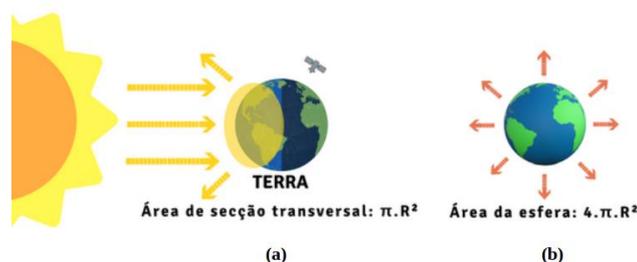
Solomon, M. (2001). *Social empiricism*. Massachusetts: The MIT Press.

## Apêndice F: Texto sobre a Física do Efeito Estufa utilizado no Estudo 3

### *Efeito Estufa e Aquecimento global: conceitos básicos*<sup>134</sup>

#### *Temperaturas planetárias*

Historicamente foi o cientista francês Jean Baptiste Fourier (1768-1830), possivelmente, o primeiro a tornar o conceito de temperatura planetária um objeto de estudo da ciência. Fourier raciocinou que se a Terra recebe energia do Sol ela também deve reemitir energia de volta para o espaço, pois de outro modo ela se tornaria cada vez mais quente. Assim, para a Terra e também para os demais planetas deve existir uma temperatura de equilíbrio para a qual a taxa de energia absorvida é igual a taxa de energia emitida (Pierrehumbert, 2004)<sup>135</sup>.



**Figura 1:** (a) Planeta absorve energia. (b) Planeta emite energia.

A taxa de energia absorvida pelo planeta (ou potência) é obtida multiplicando a intensidade de energia solar ( $I$ ) pela área do disco com o raio do planeta e descontando o valor do albedo ( $\alpha$ ) do planeta. Para determinar a taxa em que os planetas emitem energia de volta para o espaço precisamos recorrer à lei de Stefan-Boltzmann (Figura 5) que nos diz que a intensidade ( $I$ ) de energia emitida por um corpo é proporcional à quarta potência da temperatura absoluta desse corpo, ou seja,  $I = \sigma.T^4$  (onde  $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ w/m}^2$  é conhecida como constante de Stefan-Boltzmann e  $T$  é a temperatura do corpo, dada em Kelvin).

$$\text{Taxa de Energia Absorvida} = \pi.R^2 \times \text{Intensidade de Energia Solar} \times (1 - \text{albedo}) = \pi.R^2 \cdot I \cdot (1 - \alpha)$$

$$\text{Taxa de Energia Emitida} = 4.\pi.R^2 \cdot \sigma.T_e^4$$

<sup>134</sup> Este texto é composto de partes do artigo publicado: Junges, A. L.; Santos, V. Y.; Massoni, N. T., & Santos, F. A. C. Efeito Estufa e Aquecimento Global: uma abordagem conceitual a partir da Física para a educação básica. *Experiências em Ensino de Ciências*. v.13, n.5, p.126-151, 2018.

<sup>135</sup> Cientistas também costumam empregar o conceito de *temperatura efetiva* para falar dessa temperatura de equilíbrio. Para fins de definição conceitual, a *temperatura efetiva* de um corpo é a temperatura que corresponde a um corpo negro que emite a mesma quantidade de energia por unidade de área e de tempo ( $\text{W/m}^2$ ), ou seja,  $T_{ef} = (F/\sigma)^{1/4}$ . Quando a temperatura do planeta é completamente determinada pelo fluxo solar incidente, a temperatura de equilíbrio é igual a temperatura efetiva (Lissauer & Pater, 2013). Neste artigo usaremos apenas o conceito de “temperatura de equilíbrio”.

**Taxa de Energia = Taxa de Energia**  
**Absorvida Emitida**

$$\pi.R^2 . I . (1 - \alpha) = 4.\pi.R^2 . \sigma . Te^4$$

$$I . (1-\alpha)/4 = \sigma . Te^4$$

$$Te = \sqrt[4]{I.(1-\alpha)/4.\sigma}$$

*Temperatura de Equilíbrio*

**Tabela 1:** Alguns dados sobre Mercúrio, Vênus, Terra e Marte<sup>136</sup>.

	<b>Mercúrio</b> 	<b>Vênus</b> 	<b>Terra</b> 	<b>Marte</b> 
<b>Temperatura média da superfície (°C)</b>	167	464	15	- 63
<b>Temperatura de equilíbrio (°C)</b>	166	-47	- 18	- 64
<b>Distância ao Sol (km)</b>	57.910.000	108.200.000	149.600.000	227.940.000
<b>Intensidade solar no topo da atmosfera (W/m²)</b>	9.080	2.600	1.360	586
<b>Albedo</b>	0,07	0,77	0,3	0,25
<b>Pressão Atmosférica (bar)</b>	5 x 10 <sup>-15</sup>	92	1	0,0064
<b>Composição Atmosférica</b>	Hélio(42%), Sódio (42%), Oxigênio (15%), Outros (1%)	Dióxido de Carbono (96%) Nitrogênio (3%) Argônio (0,007%)	Nitrogênio (78,08%) Oxigênio (20,95%) Argônio (0,93%) Dióxido de carbono (0,037%) Ozônio (0,000006%)	Dióxido de carbono (95,32%) Nitrogênio (2,7%) Argônio (1,6%)

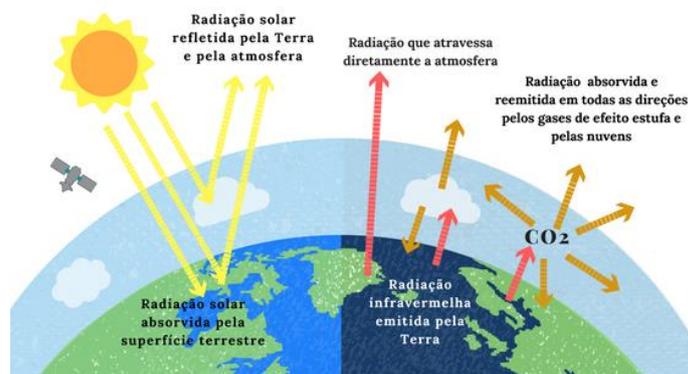
*O que explica a diferença entre a temperatura de equilíbrio e a temperatura de superfície na Terra e em Vênus?*

Em planetas com uma atmosfera substancial (consideravelmente espessa e que contém gases estufa), a radiação emitida pela superfície é absorvida por sua atmosfera antes que ela alcance o espaço exterior. Dessa maneira, um instrumento localizado no espaço não detecta a radiação emitida pelo planeta como sendo proveniente da superfície, mas de uma região emissora da atmosfera localizada a uma certa altitude. Assim, a temperatura de equilíbrio é a temperatura dessa região emissora enquanto os níveis inferiores da atmosfera podem apresentar temperaturas bem mais altas – a isso chamamos “efeito estufa”(Goody,

<sup>136</sup>Dados planetários obtidos de <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/>.

& Walker, 1996).

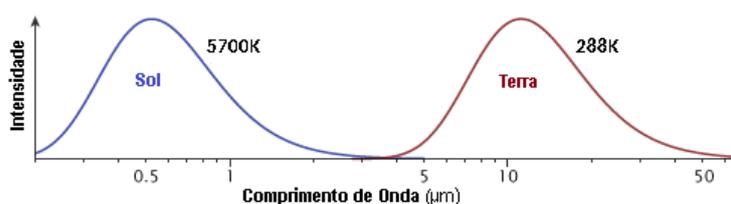
### *O efeito estufa da Terra*



**Figura 2:** Desenho esquemático do efeito estufa da Terra<sup>137</sup>.

Os principais gases de efeito estufa da atmosfera terrestre são vapor d'água (H<sub>2</sub>O), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), CFCs e ozônio (O<sub>3</sub>) (Barry & Chorley, 2013). Tais gases absorvem radiação na faixa do comprimento de onda do infravermelho, enquanto absorvem pouca ou quase nenhuma radiação visível. A consequência disso é de que a radiação visível proveniente do Sol (luz) atinge com facilidade a superfície da Terra, mas a radiação infravermelha reemitida pela Terra para o espaço encontra dificuldade em atravessar a atmosfera.

### *Distinção entre a radiação solar e terrestre*



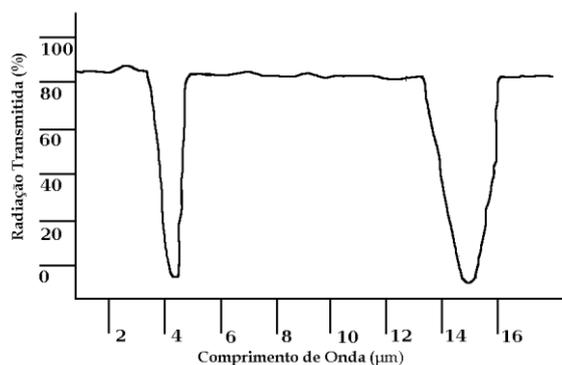
**Figura 3:** Temperaturas e picos de emissão do Sol e da Terra<sup>138</sup>.

<sup>137</sup> O desenho foi inspirado na figura apresentada em Le Treut, et al. (2007).

<sup>138</sup> Fonte: <https://earthobservatory.nasa.gov/Features/EnergyBalance/>.

### *Espectro do Infravermelho CO<sub>2</sub>*

O espectro do infravermelho do dióxido de carbono exibe as principais bandas de absorção de radiação com comprimento de onda em torno de 4,2  $\mu\text{m}$  e 15  $\mu\text{m}$ <sup>139</sup>.



**Figura 4:** Espectro infravermelho do dióxido de carbono<sup>140</sup>

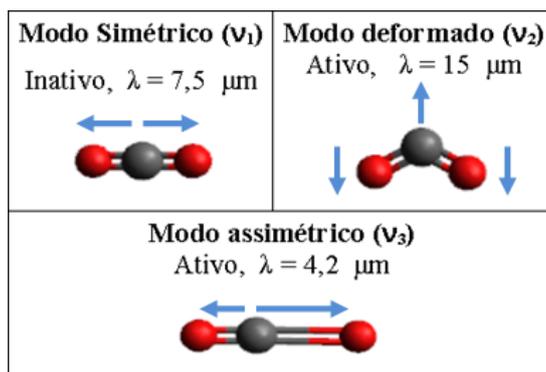
### *Modos de vibração do CO<sub>2</sub>*

A origem das bandas de absorção do dióxido de carbono se deve a forma como o CO<sub>2</sub> interage com a radiação o que remete ao estudo da espectroscopia vibracional ou espectroscopia do infravermelho na faixa de 1  $\mu\text{m}$  a 100  $\mu\text{m}$  (Banwell, 1972, p.7). Ao interagir com a radiação infravermelha a molécula de dióxido de carbono pode vibrar de acordo com diferentes orientações, conhecidas como modos de vibração<sup>141</sup>. No modo de vibração simétrico (**v<sub>1</sub>**) não há separação das cargas e, portanto, esse modo é inativo, ou seja, não absorve radiação. Contudo, nos modos de vibração deformado (**v<sub>2</sub>**) e assimétrico (**v<sub>3</sub>**) é gerado um dipolo elétrico, de maneira que esses dois modos são ativos e absorvem radiação (Banwell, 1972).

<sup>139</sup> Uma animação que simula a interação entre diferentes tipos de radiação com diferentes gases pode ser consultada em [https://phet.colorado.edu/sims/html/molecules-and-light/latest/molecules-and-light\\_pt\\_BR.html](https://phet.colorado.edu/sims/html/molecules-and-light/latest/molecules-and-light_pt_BR.html).

<sup>140</sup> Fonte: <https://webbook.nist.gov/cgi/cbook.cgi?ID=C124389&Type=IR-SPEC&Index=1#IR-SPEC>.

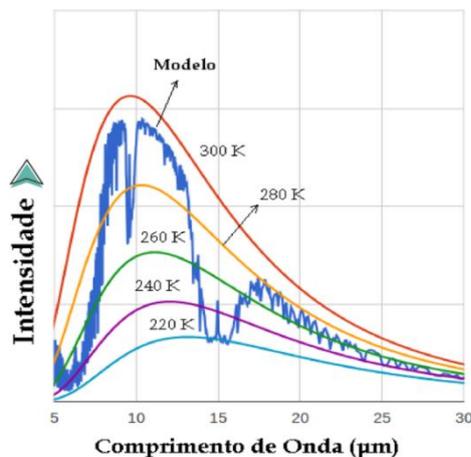
<sup>141</sup> Os três modos de vibração do CO<sub>2</sub> são ilustrados na animação <http://www.chemtube3d.com/vibrationsCO2.htm>.



**Figura 5:** Modos de vibração do  $\text{CO}_2$

### *Espectro de emissão da Terra*

O  $\text{CO}_2$  absorve radiação infravermelha emitida pela Terra, sendo justamente as bandas de absorção que permitem a existência do efeito estufa. A Figura 5 simula a emissão e absorção de radiação na atmosfera terrestre obtida a partir do modelo Modtran<sup>142</sup>. O modelo simula a situação em que um instrumento de satélite localizado a 70 km de altitude recebe a radiação emitida pela Terra gerando o espectro de emissão da Terra na faixa do infravermelho.



**Figura 6:** Emissão e absorção de radiação na atmosfera terrestre<sup>143</sup>.

<sup>142</sup> Para um comparativo entre o modelo e os dados de satélites pode-se acessar <http://climatemodels.uchicago.edu/modtran/modtran.doc.html>. Para simulação basta acessar <http://climatemodels.uchicago.edu/modtran/>.

<sup>143</sup> A figura foi obtida a partir do modelo Modtran (<http://climatemodels.uchicago.edu/modtran/>) com autorização do professor David Archer da Universidade de Chicago.

### *O balanço radioativo da Terra*

Para que a Terra possa manter uma temperatura média aproximadamente constante, deve existir um equilíbrio entre a intensidade de energia que entra ( $I_e$ ) e a intensidade de energia que sai ( $I_s$ ). Um desequilíbrio no balanço de energia no longo prazo terá como consequência um aumento ou um decréscimo da temperatura planetária. A questão que se coloca é de que maneira é possível interferir no balanço de energia da Terra? Considera-se que há três maneiras fundamentais de mudar o balanço de energia da Terra (Le Treut et al., 2007):

- (a) mudando a radiação solar que entra na Terra;
- (b) mudando o albedo da Terra;
- (c) mudando a radiação terrestre (infravermelha) para o espaço.

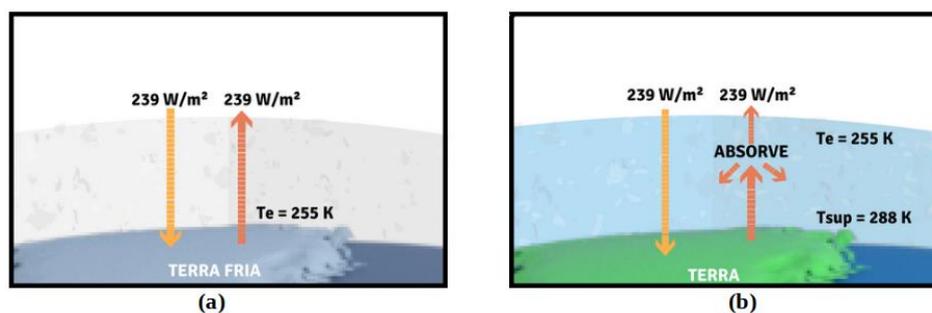
Uma mudança na radiação solar que entra na Terra pode envolver mudanças na órbita da Terra, conhecidos como ciclos de Milankowitch, ou mudanças na própria irradiância do Sol. Uma mudança no albedo da Terra pode envolver mudanças na cobertura de nuvens, emissões de partículas de aerossóis (por fontes humanas e naturais como vulcões) e mudanças na cobertura do solo (desmatamento, urbanização). Finalmente, uma mudança na radiação terrestre (infravermelha) para o espaço envolve mudanças na concentração de gases de efeito estufa. Essas três maneiras de afetar o balanço de energia da Terra são fatores externos que atuam sobre o sistema climático e são conhecidas como *forçantes climáticas*<sup>144</sup>.

#### *Forçante dos gases estufa*

Comparemos o planeta Terra com um planeta similar, mas que não contém gases estufa e que chamaremos de Terra Fria. Considerando que o albedo em cada caso seja o mesmo e que os planetas Terra Fria e Terra estejam à mesma distância do Sol, sabemos que a quantidade de energia solar que atinge a superfície planetária é igual a  $\pi.R^2 .I.(1- \alpha)$ . Contudo, como essa energia se distribui por toda área da superfície da Terra, devemos dividir essa expressão pela área de uma esfera ( $4.\pi.R^2$ ). Com isso obtemos uma expressão para a intensidade da energia que entra ( $I_e$ ) na Terra por unidade de área, ou seja,  $I_e= I.(1-\alpha)/4$ . Substituindo os valores ( $I = 1360 \text{ W/m}^2$  e  $\alpha = 0.3$ ) obtemos  $I_e = 1360.(1-0,3)/4 = 239 \text{ W/m}^2$ . Novamente, para que estejam em equilíbrio radioativo, Terra Fria e Terra devem emitir a mesma quantidade de energia de volta para o espaço. Ou seja, Terra Fria e Terra esquentam até uma temperatura de equilíbrio de 255 K para que a intensidade da energia que sai ( $I_s$ ) seja  $I_s = \sigma.T_e^4 = 239 \text{ W/m}^2$ .

---

<sup>144</sup> Há também fatores internos que influenciam o clima como as correntes oceânicas e que podem gerar uma variabilidade interna do clima (Le Treut, et al., 2007).



**Figura 7:** (a) Terra fria sem efeito estufa. (b) Terra com efeito estufa.

Nos dois casos há, contudo, uma diferença fundamental que remete a distinção entre a *temperatura de equilíbrio* e a *temperatura de superfície*. No planeta Terra Fria, como não há efeito estufa, a radiação infravermelha encontra caminho (óptico) livre para o espaço, de modo que a região emissora é a própria superfície do planeta. Ou seja, na hipotética Terra Fria a temperatura de equilíbrio e a temperatura de superfície são iguais e valem 255 K (-18 °C). Por sua vez, na Terra real a presença de gases estufa leva a atmosfera a absorver parte da radiação emitida pela superfície antes que ela alcance o espaço exterior, de modo que a região emissora de temperatura 255 K está localizada a uma determinada altitude média da atmosfera. Ou seja, um instrumento localizado no espaço e que detecta a radiação emitida pela Terra irá medir a intensidade de  $239 \text{ W/m}^2$  como sendo proveniente não da superfície, mas dessa região emissora a uma determinada altitude da atmosfera<sup>145</sup>.

Contudo, se a temperatura de equilíbrio da Terra está localizada nessa altitude média, o que acontece com a temperatura na superfície? Como vemos na Figura 7.b, parte da radiação infravermelha absorvida é reemitida pela atmosfera na direção da superfície. É essa quantidade de radiação para baixo (*downward radiation*) que é responsável pelo aumento da temperatura da superfície<sup>146</sup>. Cientistas empregam complexos modelos de transferência radioativa-convectiva para o cálculo da temperatura de superfície de um planeta com determinada atmosfera (Goody & Walker, 1996, Taylor, 2005; Pierrehumbert, 2011).

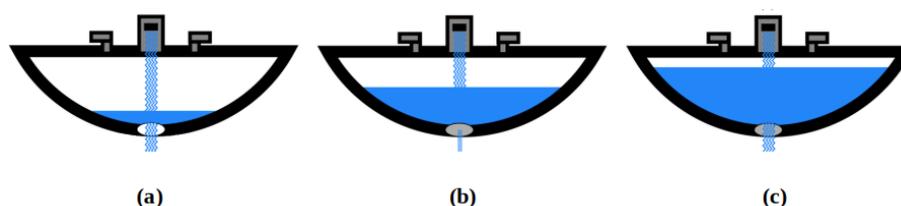
### *A intensificação do Efeito Estufa*

Podemos compreender o mecanismo de intensificação do efeito estufa recorrendo ao conceito de balanço de energia. Faremos isso, começando com a discussão de uma analogia hidráulica, ou seja, considerando uma analogia entre o fluxo de energia no sistema terrestre e o fluxo de água em uma pia (Figura 8). Nesta situação o fluxo de água

<sup>145</sup> Na realidade a situação é mais complicada e a radiação que um instrumento capta no espaço pode vir de diferentes regiões da atmosfera com diferentes altitudes e temperaturas. Além disso, há regiões do espectro, como a janela atmosférica de 8  $\mu\text{m}$  – 13  $\mu\text{m}$ , onde a radiação da superfície consegue escapar diretamente para o espaço. Veja <https://www.acs.org/content/acs/en/climatescience/atmosphericwarming.html>.

<sup>146</sup> Cientistas conseguem medir essa radiação de ondas longas vinda da atmosfera em direção a superfície usando um instrumento chamado Pirgeômetro. Veja-se mais sobre isso no texto “Sensoriamento remoto e radiação atmosférica” <http://www.iag.usp.br/siae98/meteorologia/radiacao.htm>.

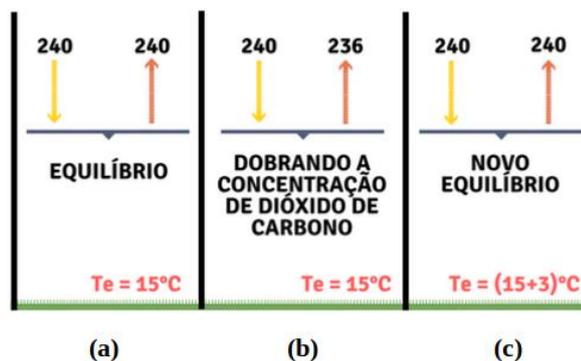
da torneira que entra na pia representa o fluxo de energia solar entrando no sistema terrestre. O fluxo de água saindo pelo ralo da pia representa a radiação terrestre que deixa o topo da atmosfera. O nível da água mantido constante representa a situação de equilíbrio onde o fluxo de entrada de água é igual ao fluxo de saída de água (Figura 8.a). Imaginemos agora que o ralo da saída da pia seja obstruído parcialmente por restos de comida que caíram na pia (Figura 8.b), o que acontece com o nível da água? Supondo que o fluxo de água entrando na pia através da torneira seja constante, então o nível da água da pia irá subir, pois há menos água saindo do que entrando na pia. A água na pia subirá até um novo nível de equilíbrio em que a pressão sobre o ralo irá aumentar a vazão de modo a reequilibrar o fluxo de entrada (Figura 8.c).



**Figura 8:** Representação do balanço entre o fluxo de entrada e saída de água numa pia.

De modo similar, aumentando a concentração de gases estufa iremos aumentar a capacidade da atmosfera em absorver radiação infravermelha, especialmente, nas regiões mais altas da atmosfera. Assim, o aumento da concentração dos gases estufa, dificulta a saída de radiação no topo da atmosfera e, desse modo, produz um desequilíbrio entre o fluxo de entrada e saída de radiação<sup>147</sup>. Para que a Terra consiga emitir novamente a mesma quantidade de energia ela precisa aquecer, pois a intensidade (fluxo de energia por unidade de área e de tempo) é proporcional à temperatura na quarta potência ( $I_s = \sigma \cdot T_e^4$ ). Ou seja, a Terra irá aquecer até uma temperatura que permita reestabelecer o equilíbrio entre a entrada e saída de energia no topo da atmosfera. Assim, a nova temperatura de superfície será maior, de modo análogo ao novo nível de água da pia. Em suma, a explicação científica faz uso do conceito de *equilíbrio dinâmico* em que o aquecimento global é uma resposta do sistema terrestre para reestabelecer o seu balanço de energia próximo ao topo da atmosfera (Pierrehumbert, 2011, p.37). Podemos verificar isso analisando a Figura abaixo.

<sup>147</sup> Podemos compreender esse processo recorrendo a uma analogia entre o fluxo de energia no sistema terrestre e o fluxo de água em uma pia. O fluxo de água da torneira que entra na pia representa o fluxo de energia solar entrando no sistema terrestre. O fluxo de água saindo pelo ralo da pia representa a radiação terrestre que deixa o topo da atmosfera. O nível da água mantido constante representa a situação de equilíbrio onde o fluxo de entrada de água é igual ao fluxo de saída de água. Imaginemos agora que o ralo da saída da pia seja obstruído parcialmente por restos de comida que caíram na pia, o que acontece com o nível da água? Supondo que o fluxo de água entrando na pia através da torneira seja constante, então o nível da água da pia irá subir, pois há menos água saindo do que entrando na pia. A água na pia subirá até um novo nível de equilíbrio em que a pressão sobre o ralo irá aumentar a vazão de modo a reequilibrar o fluxo de entrada. A situação hipotética descrita é uma boa analogia com o que acontece com o fluxo de energia no sistema terrestre, onde o aumento da concentração dos gases estufa é representados pela sujeira do ralo e o aumento do nível da água representa o aumento da temperatura.



**Figura 9:** Balanço de energia da Terra. (a) em equilíbrio, (b) efeito estufa intensificado e fora do equilíbrio, (c) novo equilíbrio.

Na situação de equilíbrio, sem a intensificação do efeito estufa, a temperatura de superfície é de 15 °C com equilíbrio entre os 240 W/m<sup>2</sup> de entrada<sup>148</sup> e 240 W/m<sup>2</sup> de saída. Por sua vez, com o efeito estufa intensificado (duplicando a concentração de CO<sub>2</sub>) é gerado um desequilíbrio com uma saída de apenas 236 W/m<sup>2</sup>. Para que a Terra possa reestabelecer o equilíbrio ela precisa aquecer até uma nova temperatura apontada na Figura 7 como sendo 18° C (Houghton, 2009). Este valor de 3° C é um valor intermediário na medida em que as estimativas científicas sobre o aumento da temperatura do planeta, em face de duplicarmos as concentrações de CO<sub>2</sub>, giram entre 1,5 °C a 4,5 °C (Ipcc, 2013, p.16). As complexidades do sistema climático e os mecanismos de retroalimentação não possibilitam afirmações precisas e categóricas sobre o aumento da temperatura do planeta. Contudo, o conhecimento científico atual permite aos cientistas fazerem estimativas sobre quais cenários de aquecimento são mais prováveis de ocorrer no futuro.

### Glossário de Termos:

**Aquecimento global** é o aquecimento da atmosfera inferior (troposfera) da Terra causado pelo aumento das concentrações de um ou mais gases de efeito estufa. (Miller, 2016).

**Mudança climática** constitui uma variação estatisticamente significativa no estado médio do clima ou em sua variabilidade, que persiste por um período prolongado, geralmente de décadas ou mais. (Barry & Chorley, 2013)

**Clima** é o comportamento de longo prazo e consistente do tempo meteorológico, abrangendo períodos de pelo menos três décadas à milhares de anos. (Christopherson, 2012; Miller, 2016).

**Tempo** meteorológico é a condição da atmosfera em curto espaço de tempo, período de

<sup>148</sup> Para facilitar a visualização usamos o valor de 240 W/m<sup>2</sup> e não os 239 W/m<sup>2</sup> que discutimos anteriormente. Veja-se também Houghton (2009).

horas à dias, envolvendo medidas de temperatura, pressão do ar, umidade relativa, direção e velocidade do vento e direção, duração do dia e radiação solar incidente. (Christopherson, 2012; Miller, 2016)

**Sensibilidade climática** representa o aumento da temperatura média do planeta supondo que a concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera dobre em relação aos níveis pré-industriais (280 ppm). Estima-se que a sensibilidade do clima da Terra esteja entre 2 a 5 graus. (Barry & Chorley, 2013)

### Referências:

- Banwell, C. (1972). *Fundamentals of molecular spectroscopy*. London: McGraw-Hill.
- Barry, R. & Chorley, R. (2013). *Atmosfera, tempo e clima*. Porto Alegre: Bookman.
- Christopherson, R. (2012). *Geossistemas: uma introdução a geografia física*. Porto Alegre: Bookman.
- Fleming, J. (1998). *Historical Perspectives on Climate Change*. New York: Oxford University Press.
- Goody, R. & Walker, J. (1996). *Atmosferas planetárias*. São Paulo: Edgard Blucher.
- Houghton, J. (2009). *Global warming: the complete briefing*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Ippc. (2013). *Summary for Policymakers*. Acesso em 15 jan., 2018, [https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WGIAR5\\_SPM\\_brochure\\_en.pdf](https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WGIAR5_SPM_brochure_en.pdf).
- Le Treut, H., Somerville, R., Cubasch, U., Ding, Y., Mauritzen, C., Mokssit, A., Peterson, T., & Prather, M. (2007): *Historical Overview of Climate Change*. Acesso em 10 jan., 2018, <https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-chapter1.pdf>.
- Miller, T. (2015). *Ciência ambiental*. São Paulo: Cengage Learning.
- Pierrehumbert, R. (2004). Warming the world: Greenhouse effect: Fourier's concept of planetary energy balance is still relevant today. *Nature*, 432, 677.
- Pierrehumbert, R. (2011). Infrared radiation and planetary temperature. *Physics Today*, 64(1), 33-38.
- Taylor, F. W. (2005). *Elementary climate physics*. Oxford: Oxford University Press.
- Weart, S. (2003-2017). The discovery of global warming (hipertexto). Acesso em 10 fev., 2018, <http://www.aip.org/history/climate/index.htm>.

## Apêndice G: Texto 1 sobre a história da ciência do aquecimento global utilizado no Estudo 3

### *Um breve relato histórico da ciência do aquecimento global*

As origens mais recentes da discussão sobre a agência humana no clima remontam aos trabalhos do matemático e cientista francês Jean Babtiste Joseph Fourier (1768 – 1830). Em 1824, Fourier apresentou um artigo *Académie Royale des Sciences* em Paris onde 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 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)<sup>149</sup>.

Embora Fourier especulasse acertadamente que a atmosfera teria um papel a desempenhar 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 (CO<sub>2</sub>) e o vapor d'água (H<sub>2</sub>O) exibiam propriedades de absorção da radiação infravermelha, enquanto que o oxigênio, nitrogênio e hidrogênio, não exibiam propriedades de absorção da radiação infravermelha (Fleming, 1998, p.70). 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 onde 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, p.74; Weart, 2008, p.5)<sup>150</sup>. Em trabalhos subsequentes Arrhenius desenvolveu em maior detalhe

---

<sup>149</sup> 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).

<sup>150</sup> Assim, por exemplo, supondo que a concentração de CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> fosse diminuir, isso levaria a um resfriamento da atmosfera, uma atmosfera mais fria comporta menos vapor d'água que levaria a um resfriamento ainda maior (Weart, 2008, p.5)

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 época. Na época, tanto Arrhenius quanto Tyndall consideravam que as principais fontes de emissões de CO<sub>2</sub> eram os vulcões. Sobre as consequências de possíveis aumentos da concentração CO<sub>2</sub> na atmosfera devido a 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).

#### *Ceticismo (1900- 1940)*

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, pôs seu assistente (Herr Koch) a medir em laboratório a passagem de radiação infravermelha através de um tubo contendo CO<sub>2</sub>. Tais medidas revelaram que a quantidade de radiação que atravessava o tubo praticamente não mudava a medida que a quantidade de CO<sub>2</sub> era reduzida pela metade. Isso significava que existia um limite (saturação) na capacidade de absorção de radiação por parte do CO<sub>2</sub>. Em outras palavras, uma vez que o CO<sub>2</sub> estivesse em concentração suficientemente alta, um aumento nessa concentração não implicava em maior absorção de radiação. Além disso, Angström e seu assistente também concluíram que o CO<sub>2</sub> e o vapor d'água absorviam radiação infravermelha nas mesmas regiões espectrais, ou seja, toda radiação que o CO<sub>2</sub> iria absorver já seria absorvida pelo vapor d'água que é um gás estufa muito mais abundante na atmosfera (Fleming, 1998, p.112).

Esses resultados levaram diversos cientistas a considerar que o CO<sub>2</sub> presente na atmosfera já exerceria a sua plena capacidade de absorção de radiação. Um aumento da concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera não aumentaria o efeito estufa. De fato, em um artigo de 1901 Arrhenius defende a sua teoria criticando os resultados experimentais de Angström e Koch, além de apontar para a importância das camadas superiores da atmosfera onde o CO<sub>2</sub> teria um papel importante a desempenhar, pois, nessas altitudes, o ar frio e seco teria pouco vapor d'água (Weart, 2008). Contudo, o artigo de Arrhenius teve pouco impacto não sucedendo na sua defesa da teoria.

Na época havia ainda outras objeções contra a teoria de Arrhenius, como a de que o CO<sub>2</sub> proveniente de emissões humanas ou vulcânicas seria rapidamente absorvido pelos oceanos. Ou, ainda, que outros sumidouros naturais como as florestas seriam capazes de absorver o excesso de CO<sub>2</sub>, uma vez que as plantas crescem mais rápido quando existe mais CO<sub>2</sub> na atmosfera. Ou seja, os sistemas naturais teriam a capacidade de estabilizar a atmosfera e um aumento tão dramático das concentrações de CO<sub>2</sub> (40%), como suposto por Arrhenius, não seria possível.

Tais objeções tiveram um efeito considerável nas décadas subsequentes, levando a praticamente um completo abandono da teoria do dióxido de carbono das mudanças climáticas. Em 1951 no *Compendium of Meteorology* da *American Meteorological Society* o meteorologista C.E.P. Brooks escreve que a teoria do CO<sub>2</sub> das mudanças climáticas

[...]“nunca foi amplamente aceita e foi abandonada quando foi descoberto que toda radiação de ondas longas absorvida pelo CO<sub>2</sub> é também absorvida pelo vapor d’água” (Brooks, 1951 citado em Fleming, 1998, p.113).

### *Teorias Competidoras*

É importante notar que durante esse mesmo período estavam sendo desenvolvidas uma série de teorias rivais que visavam explicar o surgimento e o recuo das eras glaciais. Entre tais teorias pode-se citar: a teoria solar, a teoria orbital (ciclos de Milankovitch), a teoria dos aerossóis (vulcões e poluição industrial), entre outras (Fleming, 1998, p. 109). A teoria do dióxido de carbono era apenas mais uma dessas teorias. Para um tratamento dessas teorias pode-se consultar Spencer Weart (<https://history.aip.org/climate/index.htm>)<sup>151</sup>.

### *A Teoria do CO<sub>2</sub> restaurada (1940 - )*

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 CO<sub>2</sub> na atmosfera, propriedades espectroscópicas do CO<sub>2</sub> e estimativas da temperatura global com base em dados de estações meteorológicas da época (Fleming, 1998, p.113-118). Nos artigos de 1938 e 1939 Callendar argumenta que a combustão de combustíveis fósseis teria provocado um aumento de 6 % de CO<sub>2</sub> na atmosfera entre 1900 e 1936, e que este aumento de CO<sub>2</sub> seria o responsável pelo aumento da temperatura registrada nesse mesmo período (Fleming, 1998, p.115). Em 1941 Callendar também publica uma revisão sobre as novas medidas de absorção da radiação infravermelha pelo CO<sub>2</sub> que demonstravam que as bandas de absorção do CO<sub>2</sub> não coincidem com o vapor d’água. Ou seja, a objeção de Knut Angström não seria um argumento decisivo contra a teoria<sup>152</sup>.

Callendar, assim como Arrhenius, não considerava que as emissões antropogênicas seriam um problema para as futuras gerações, considerando 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).

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

<sup>151</sup> Veja <https://history.aip.org/climate/solar.htm> e <https://history.aip.org/climate/cycles.htm>. <https://history.aip.org/climate/aerosol.htm>.

<sup>152</sup> Como observado por Fleming (Ibid, p.118), 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 CO<sub>2</sub> no clima.

que dobrar a concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera resultaria num aumento de 3,6 °C na temperatura média da superfície da Terra (Plass, 1956). A vantagem de Plass era a de 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, p. 378) revê as principais objeções contra a teoria do CO<sub>2</sub>, como a objeção de que o CO<sub>2</sub> absorvia nas mesmas regiões do vapor d'água e a objeção de que CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub>, Plass (1956) estimou que tais emissões levariam a um aumento de 30 % na concentração de CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> e a temperatura realmente continuaram a subir<sup>153</sup>. Contudo, na época ainda era matéria de especulação se seria possível aumentar de forma tão drástica a concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera. 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 CO<sub>2</sub> seria absorvido pelos oceanos, uma vez que os oceanos possuem uma quantidade muito maior de carbono dissolvido do que a atmosfera.

Essa objeção passou a ser posta em cheque diante dos novos desenvolvimentos subsequentes iniciados 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 CO<sub>2</sub>, a química das águas superficiais dos oceanos implicava também que parte do CO<sub>2</sub> absorvido acabava reevaporando<sup>154</sup> de volta para o ar, de modo que os oceanos possuíam um limite na capacidade de absorção do CO<sub>2</sub> (Weart, 2008, p.27).

Além de serem trabalhos preliminares e que posteriormente seriam revistos, o trabalho 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

---

<sup>153</sup> Veja, por exemplo, o site da Nasa <<https://climate.nasa.gov/>>.

<sup>154</sup> 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 do CO<sub>2</sub> fóssil emitido pelas atividades humanas <<https://history.aip.org/climate/co2.htm#S2>>.

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 concentrado carbono orgânico 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 das atividades humanas alterarem a composição química da atmosfera. Com essa preocupação, tornou-se vital dispor de medidas mais precisas da concentração de CO<sub>2</sub>. É nesse momento que o trabalho de Charles David Keeling, de medida da concentração de CO<sub>2</sub> 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, p.24). 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 CO<sub>2</sub> na atmosfera. Após a compra de equipamentos, as medidas iniciaram por volta de 1957 em dois locais distintos, na Antártica (pólo Sul) e no observatório do monte Mauna Loa Havaii.

Dois anos após o início das medidas Keeling relatou que a concentração de CO<sub>2</sub> estava subindo (Weart, 2008, p. 35). O resultado das medições de Keeling, que deu origem a 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 planeta<sup>155</sup>. Os resultados das medidas feitas por Keeling finalmente refutaram o argumento de que qualquer excesso de emissões de CO<sub>2</sub> seria absorvido pelos oceanos.

#### *Controvérsia Resfriamento vs. Aquecimento (1960-1970)*

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 (como a teoria solar e a orbital) a explicar as grandes mudanças do clima do passado 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 CO<sub>2</sub>) mais importantes na regulação do clima do planeta<sup>156</sup>.

Para agravar o debate, em 1963 o respeitado climatologista Murray Mitchell publica uma análise estatística da temperatura global, baseado em dados da *World Weather Records*, indicando que desde 1940 estava em curso uma tendência de resfriamento do planeta

---

<sup>155</sup> Sobre a famosa curva de carbono de Keeling pode-se acessar [http://en.wikipedia.org/wiki/Keeling\\_Curve](http://en.wikipedia.org/wiki/Keeling_Curve), ou <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/full.html>.

<sup>156</sup> “Carbon dioxide: key to climate change (1960-1970)” <https://history.aip.org/climate/co2.htm#SP>.

(Weart, 2008, p.65)<sup>157</sup>. 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, p.79).

Essa controvérsia entre aquecimento e resfriamento global perdurou durante as décadas de 1960 e 1970 (Weart, 2008, p.98). 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 CO<sub>2</sub>. 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 força de aquecimento do CO<sub>2</sub> superar as forças de resfriamento naturais (como os vulcões e os ciclos de Milankovitch) e a força dos aerossóis antropogênicos (Peterson, Connolley & Fleck, 2008, p.1333).

O crescente reconhecimento da plausibilidade da teoria do CO<sub>2</sub> fica evidente no relatório da primeira conferência mundial sobre o clima (*World Climate Conference - WCC*) organizada pela Organização Meteorológica Mundial em 1979 e que reuniu praticamente todos os grandes especialistas em clima do planeta (Weart, 2008, p.112). 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 (Proceedings of the World Climate Conference, 1979, p.739).

---

<sup>157</sup> *World Weather Records* [http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/wcdmp/GCDS\\_2.php](http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/wcdmp/GCDS_2.php). Veja, também, “Warming or Cooling? (1960 – 1974)” <https://history.aip.org/climate/20ctrend.htm#S2>.

### *Reconhecimento da teoria e a criação do IPCC (1980 - )*

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, p.115)<sup>158</sup>. O hemisfério sul havia sofrido um leve aquecimento e de um ponto de vista global, as temperaturas de 1940 não eram muito distintas de 1970 (Hansen, et al., 1981). Além disso, no início de 1980 temperaturas indicavam uma tendência de retomada de aquecimento (Ibid., p. 961).

Novas evidências provenientes das análises de mantos de gelo da Antártica e da Groelândia passaram a revelar o papel do CO<sub>2</sub> na história climática (Weart, 2008, p.126). Em 1987 um grupo de cientistas franceses e russos da estação Vostok na Antártica publicaram seus resultados das análises dos cilindros de gelo cobrindo 150 mil anos. As amostras revelavam que havia uma forte correlação entre os níveis de CO<sub>2</sub> e a temperatura, ou seja, quando o CO<sub>2</sub> estava alto a temperatura também estava alta e vice versa<sup>159</sup>. 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 CO<sub>2</sub> e a temperatura foi observada. Ficou claro neste momento que o CO<sub>2</sub> fazia parte da história climática da Terra (Weart, 2008, p.127)<sup>160</sup>.

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 CO<sub>2</sub>. 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, p.150). Muitos cientistas criticaram Hansen, pois ainda seria cedo para poder fazer tal afirmação. A essa altura o assunto havia se tornado público, 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 cientistas do mundo inteiro, compartilhando dados e informações. Esse esforço foi em grande medida

---

<sup>158</sup> “Warming Resumed (1975 – 1987)” <https://history.aip.org/climate/20ctrend.htm>.

<sup>159</sup> Veja <https://history.aip.org/climate/xVostokco2.htm>.

<sup>160</sup> Os dados indicavam também que os níveis de CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> e outros gases estufa como o vapor d’água (<https://history.aip.org/climate/cycles.htm>).

liderado pela Organização Meteorológica Mundial (World Meteorological Organization – WMO) e pelo Conselho Internacional de Ciência (International Council for Science - ICSU)<sup>161</sup>.

Foram a ICSU e a WMO que em 1979 promoveram a primeira Conferência Mundial do Clima (*World Climate Conference*), e que deu origem ao *World Climate Programme* (WCP) ainda hoje em ativa e que inclui vários ramos como o World Climate Research Program (WCRP)<sup>162</sup>. 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 de gases estufa<sup>163</sup> (Pearce, 2010, p. 33).

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 setores<sup>164</sup>. Foi neste momento que a WMO considerou que uma resposta mais precisa da comunidade científica seria necessária (Weart, 2008, p.152). 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 tema<sup>165</sup>.

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

---

<sup>161</sup> 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/>).

<sup>162</sup> Veja [http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/index\\_en.html](http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/index_en.html). Veja-se *World Climate Research Program* (<https://www.wcrp-climate.org/>). Outro program lançado nesse período, mais especificamente em 1983, é o *International Geosphere-Biosphere Program (IGBP)* (<http://www.igbp.net/>).

<sup>163</sup> 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> e <https://history.aip.org/climate/internat.htm>.

<sup>164</sup> 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, p.38; Weart, 2008, p.152).

<sup>165</sup> 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>.

aumento do efeito estufa em face do aumento das concentrações de gases estufa. Contudo, é apenas no terceiro relatório de 2001 que encontramos uma posição mais afirmativa sobre a influência humana no clima<sup>166</sup> [...]“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)<sup>167</sup>. 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 vulcânicas (Ibid.)<sup>168</sup>. Nos relatórios seguintes o IPCC (2007, 2013) exhibe níveis maiores de confiança na atribuição da influência humana no clima global. 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 radioatividade positiva, do aquecimento observado, e da compreensão do sistema climático” (IPCC, 2013, p. 15).

## Referências

Fleming, J. (1998). *Historical Perspectives on Climate Change*. New York: Oxford University Press.

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.

Ippc. (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 [Houghton, J. T., Meira Filho, L. G., Callander, B. A., Harris, N., Kattenberg, A., and Maskell, K. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 588pp.

Ippc. (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 [Houghton, J.T., Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, and C.A. Johnson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 881pp.

Ippc. (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 [Stocker,T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M.

---

<sup>166</sup> No segundo relatório de 1995 os autores limitaram apenas a conclusão: “o balanço da evidência sugere uma discernível influência humana no clima global” (IPCC, 1996, p.4).

<sup>167</sup> 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.

<sup>168</sup> 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 CO<sub>2</sub> e outros gases estufa eram agora reconhecidamente parte da explicação para o aumento da temperatura observado durante o século XX. Veja-se a seção “The computer models vindicated (1990s – 2000s)” <<https://history.aip.org/climate/co2.htm#S3>>.

Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

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>

Plass, G. (1956). Effect of Carbon Dioxide Variations on Climate. *American Journal Of Physics*, 24(5), 376-387.

Proceedings of the *World Climate Conference: a conference of experts on climate and mankind (1979)*. World Meteorological Organization. Geneva. Recuperado de [https://library.wmo.int/pmb\\_ged/wmo\\_537\\_en.pdf](https://library.wmo.int/pmb_ged/wmo_537_en.pdf).

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>.

## Apêndice H: Texto 2 sobre a história da ciência do aquecimento global utilizado no Estudo 3

### *Mudando o Sol, Mudando o clima?\**

\* Tradução de partes do texto original de Spencer Weart “Changing Sun, Changing Climate?” Recuperado de <https://history.aip.org/climate/pdf/Solar.pdf>.

O Sol domina tão grandemente os céus que as primeiras especulações científicas sobre diferentes climas perguntavam apenas como a luz do Sol cai na Terra em diferentes lugares. A própria palavra clima (do grego *klimat*, inclinação ou latitude) originalmente representava uma simples faixa de latitude. Quando os cientistas começaram a ponderar sobre a possibilidade de mudança climática, seus pensamentos naturalmente se voltaram para o Sol. Os primeiros cientistas modernos acharam plausível que o Sol não pudesse queimar para sempre e especularam sobre uma lenta deterioração do clima da Terra enquanto que o combustível acabava. Em 1801 o grande astrônomo William Herschel introduziu a ideia de conexões climáticas mais transitórias. Era um fato bem conhecido de que algumas estrelas variavam em brilho. Como o nosso Sol é uma estrela, era natural perguntar se o brilho do Sol pode variar, trazendo períodos mais frios ou mais quentes na Terra? Como evidência de uma conexão entre o sol e o clima Herschel apontou para períodos do século XVII, variando de duas décadas a alguns anos, quando quase nenhuma mancha solar havia sido observada.

Durante esses períodos ele observou que o preço do trigo tinha sido alto, presumivelmente devido a seca. A especulação aumentou em meados do século XIX após a descoberta de que o número de manchas vistas no sol subiu e caiu em um ciclo regular de 11 anos. Parecia que as manchas solares refletiam algum tipo de tempestade na superfície do Sol - atividade violenta que afeta fortemente o campo magnético da Terra. Os astrônomos também descobriram que algumas estrelas, que pareciam bastante semelhantes ao Sol, passaram por variações muito grandes. No final do século, uma pequena comunidade de cientistas estavam perseguindo a questão de como a variabilidade solar pode se relacionar com ciclos climáticos de curto prazo, bem como mudanças climáticas a longo prazo.

Nos anos 1930, o mais persistente defensor da conexão solar-clima era Charles Greeley Abbot do Observatório Astrofísico Smithsonian. Seu antecessor, Samuel Pierpont Langley, estabeleceu um programa para medir a intensidade da radiação do Sol recebida na Terra, chamada de “constante solar”. Abbot perseguiu o programa por décadas. No início dos anos 20, ele concluiu que a “constante” solar foi batizada erroneamente: suas observações mostraram variações ao longo de períodos de dias, que ele conectou com as manchas solares que atravessam a face do Sol. De acordo com seus cálculos, durante um período de anos, quando o Sol estava mais ativo seu brilho era mais intenso em quase um por cento. Certamente isso influencia o clima! Já em 1913, o Abbot anunciou uma correlação entre o ciclo de manchas solares e os ciclos de temperatura na Terra. (Isso só funcionava, no entanto, se ele levava em consideração o resfriamento temporário causado pela poeira de erupções vulcânicas.) Autoconfiante e combativo, Abbot defendeu suas descobertas contra

todas objeções, enquanto promovia para o público que estudos solares traria melhorias maravilhosas na previsão do tempo. Ele e outros no Smithsonian perseguiram o tópico obstinadamente na década de 1960, convencidos de que as variações das manchas solares eram uma das principais causas das mudanças climáticas.

Outros cientistas foram discretamente céticos. As variações da constante solar de Abbot estavam no limite da detectabilidade, se não além. Tudo o que ele parecia ter mostrado com certeza era que a constante solar não varia mais do que um por cento, permanecendo uma questão em aberto se ela varia perto desse nível. Talvez Abbot estivesse detectando variações não na constante solar, mas na transmissão de radiação através da atmosfera. Ainda assim, se isso variava com o ciclo das manchas solares, poderia por si só mudar o clima.

Menos propensos a entusiasmo exagerado e ao desprezo científico, mas igualmente especulativo, era a possibilidade do Sol poder afetar o clima em escalas de tempo muito mais longas. Durante a década de 1920 algumas pessoas desenvolveram modelos simples que sugeriam que até mesmo uma mudança modesta na radiação solar poderia desencadear uma era do gelo, iniciando mudanças auto-sustentáveis no gelo polar. Um importante meteorologista britânico, Sir George Simpson, acreditava que a sequência das eras glaciais mostrava que o Sol é uma estrela variável, mudando seu brilho ao longo de um ciclo de cerca de 100.000 anos. “Sempre houve um relutância entre os cientistas em invocar mudanças na radiação solar ... para dar conta das mudanças do clima”, disse Simpson à Real Sociedade Meteorológica em um discurso presidencial de 1939. “O sol é tão poderoso e a radiação emitida é tão imensa que mudanças de período relativamente curto ... tem sido quase impensáveis”. Mas nenhuma das causas terrestres propostas para as idades glaciais era convincente, ele disse, e isso “força uma reconsideração das causas extraterrestres”.

Evidência foi sendo acumulada de que o Sol realmente muda, ao menos superficialmente, de um século para outro. Já em 1961, Minze Stuiver orientou-se para direção certa. Stuiver estava preocupado com as variações peculiares na quantidade de carbono-14 radioativo encontrado em anéis de árvores antigas. O carbono-14 é gerado quando os raios cósmicos dos confins do universo atingem a atmosfera. Stuiver observou como as mudanças no campo magnético do Sol mudariam o fluxo de raios cósmicos atingindo a Terra. Ele havia perseguido esta linha em colaboração com o especialista em carbono-14 Hans Suess, confirmando que a concentração do isótopo havia variado ao longo do milênio passado. Eles não estavam sugerindo que mudanças no carbono-14 (ou raios cósmicos) alteravam o clima; em vez disso, eles estavam mostrando que o isótopo poderia ser usado para medir a atividade solar no passado distante.

Em 1965 Suess tentou correlacionar os novos dados com registros meteorológicos na esperança de que variações no carbono-14 "poderiam fornecer evidências conclusivas sobre as causas das grandes eras glaciais". Ele concentrou-se no período frio e amargo que os historiadores descobriram nos escritos europeus sobre o clima do século XV ao século XVIII (a “Pequena Era do Gelo”). Essa foi uma época com carbono-14 relativamente alto o que aponta para uma baixa atividade solar. De olho nos dados históricos de manchas solares, Suess notou que tais séculos de fato apresentavam uma baixa contagem de manchas solares. Em suma, menos manchas solares aparentemente resultavam em invernos mais frios.

Em 1976, (Jack) Eddy articulou todas as partes em um artigo que logo se tornou famoso. Ele era um dos vários especialistas em energia solar em Boulder, onde uma comunidade vigorosa de astrofísicos, meteorologistas, e outros cientistas da Terra haviam crescido em torno da Universidade do Colorado e do NCAR.

O anúncio de Eddy de uma conexão solar-clima, no entanto, encontrou o ceticismo habitual. Ele apresentou seus argumentos vigorosamente, enfatizando especialmente a Pequena Era do Gelo, que ele memoravelmente apelidou de “Maunder Minimum” das manchas solares.

Argumentando mais longe, Eddy chamou a atenção para um período de pouco carbono-14 e, portanto, de alta atividade solar durante os séculos XI e XII. Observações em manuscritos medievais mostraram que esses séculos foram excepcionalmente quente na Europa. Estava longe de ser provado que aqueles eram tempos de maior temperaturas em todo o mundo. No entanto, os cientistas estavam (de modo usual) impressionados com as evidências da região do Atlântico Norte, onde a maioria deles vivia e onde os registros históricos era, mais conhecidos. Especialmente notável foi o clima ameno que encorajou Vikings medievais a estabelecer colônias na Groenlândia.

Eddy trabalhou duro para "vender" suas descobertas. Em um workshop de 1976, onde ele apresentou pela primeira vez seu argumento completo, seus colegas aceitaram provisoriamente que a variabilidade solar poderia ser responsável por mudanças climáticas durante períodos de algumas centenas ou milhares de anos.

Como as alterações no número de manchas solares podem afetar o clima? A influência mais direta seria se a mudança significasse uma subida ou descida na energia total que o Sol irradia sobre a Terra, a chamada "constante solar". O desenvolvimento de radiômetros de alta precisão na década de 1970 aumentou as esperanças de que variações bem abaixo de um por cento poderiam ser detectadas. Mas poucos confiaram nas medições feitas do solo ou mesmo de balões estratosféricos. Foguetes lançados acima da atmosfera forneceram breves observações que pareciam mostrar variação ao longo do tempo, mas era difícil eliminar erros de instrumentação.

Para tentar resolver a questão, a NASA incluiu um instrumento para medir a constante solar em um satélite lançado em 1980. O dispositivo incrivelmente preciso foi o trabalho de uma equipe no Jet Laboratório de Propulsão liderado por Richard C. Willson. Logo após o lançamento do satélite, eles relataram pequenas variações sempre que grupos de manchas solares passavam pela face do Sol. Confirmação essencial veio de um instrumento que John Hickey e seus colegas haviam conduzido para inserir no satélite Nimbus-7, uma espaçonave construída para monitorar o clima e não o sol. Ambos os instrumentos provaram ser estáveis e confiáveis. Em 1988, quando um novo ciclo solar começou, ambos os grupos relataram que a radiação solar total varia ligeiramente com o ciclo de manchas solares<sup>169</sup>.

Medições de satélite determinaram precisamente como o brilho solar variava com o número de manchas solares. Durante um ciclo de manchas solares, a energia irradiada variava apenas uma parte em mil; medir essas pequenas alterações foi um triunfo da instrumentação. Uma

---

<sup>169</sup> Ciclo das manchas solares [https://solarscience.msfc.nasa.gov/images/Zurich\\_Color\\_Small.jpg](https://solarscience.msfc.nasa.gov/images/Zurich_Color_Small.jpg).

única década de dados era muito pouco para dar apoio a qualquer conclusão definitiva sobre mudanças no clima a longo prazo, mas era difícil ver como uma variação tão fraca poderia importar muito. Desde a década de 1970, cálculos aproximados indicavam que era necessária uma variação maior, talvez meio por cento, para fazer um impacto sério na temperatura global. No entanto, uma variação de um décimo de um por cento era possível ao longo de um único ciclo de manchas solares, então era plausível imaginar que mudanças maiores e mais duradouras poderiam ter ocorrido durante o Mínimo de Maunder e outras grandes variações solares.

Alguns pesquisadores continuaram com a velha busca por conexões de curto prazo. Manchas solares e outras medidas mostraram claramente que o Sol se tornou mais ativo desde o século XIX. Isso não estava ligado de alguma forma com o aumento de temperatura nas mesmas décadas? Por exemplo, de acordo com um estudo de 1991, as temperaturas do Hemisfério Norte nos últimos 130 anos correlacionaram-se bem com o comprimento do ciclo de manchas solares (que variou entre 10 e 12 anos). Esta descoberta foi destacado no ano seguinte em um relatório amplamente divulgado por um grupo conservador. O relatório afirmava que o aumento da temperatura no século XX poderia ser atribuído inteiramente à atividade solar. O ponto principal que eles defendiam era menos científico do que político: “a evidência não apóia uma política de restrições ao dióxido de carbono com seus impactos negativos na economia dos EUA” [Weart, citando Seitz (1992)].

Uma abordagem mais promissora perseguiu a possibilidade de conexões entre mudanças climáticas e mudanças lentas na atividade magnética do Sol que poderiam ser deduzidas das medições de carbono-14. Alguns estudos que olharam para variações de longo prazo, para além do ciclo de manchas solares de 11 anos, chegaram a anunciar “um papel mais significativo para a variabilidade solar na mudança climática”.

Em 1997, um grupo de cientistas chamou a atenção para uma possível explicação para o link. A partir de uma enorme banco de observações, compiladas por um projeto de satélite internacional, eles relataram que a cobertura global de nuvens aumentou ligeiramente em períodos em que o fluxo de raios cósmicos era maior. Atividade solar mais fraca aparentemente significava mais nuvens. Mais tarde estudos e reanálise dos dados encontraram erros graves, e os próprios autores mudaram sua alegação de um efeito em nuvens de alto nível para um efeito em nuvens de baixo nível.

Enquanto a física de como a atividade solar poderia afetar as nuvens permaneceu obscura, era agora inegável que possíveis mecanismos poderiam existir. E enquanto os dados possuíam ruído, uma variedade de evidências, algumas das quais remontam a milhares de anos, mostravam correlações confiáveis entre a atividade solar e características do clima. Qualquer que seja a forma exata da influência solar, a maioria dos cientistas estava por aceitar que o sistema climático era tão instável que muitos tipos de pequenas variações externas poderiam desencadear uma mudança. Poderia não ser necessário invocar mecanismos exóticos de raios cósmicos, pois o sistema pode ser sensível até mesmo às pequenas variações de energia do Sol, a constante solar. O balanço da opinião científica mudara. Muitos especialistas pensavam agora que havia de fato uma conexão solar-clima.

Quando um estudo de 1999 relatou evidências de que o campo magnético do Sol havia se fortalecido desde a década de 1880, ele trouxe ainda mais atenção para a questão-chave: foi o aumento da atividade solar a principal causa do aumento da temperatura média global

ao longo desse período? No começo do século 21, a maioria dos especialistas considerava provável que o Sol tivesse causado pelo menos parte do aquecimento do século anterior. De modo mais convincente, o aquecimento das décadas de 1880 a 1940 ocorreu quando a atividade solar estava subindo, enquanto que o acúmulo de dióxido de carbono ainda não tinha sido grande o suficiente para importar muito. Um resfriamento durante os anos 1950 e 1960, seguido da retomada do aquecimento também correlacionado fracamente com mudanças na atividade solar. O resfriamento temporário provavelmente estava relacionado, pelo menos em parte, com um aumento da fumaça de neblina poluída, poeira de fazendas, erupções vulcânicas, e outros aerossóis.

Na média a atividade das manchas solares havia diminuído após 1980 e, de modo geral, a atividade solar não havia aumentado durante a metade do século, desde 1950. Do mesmo modo, os raios cósmicos medidos desde a década de 1950 também não mostravam tendência de longo prazo. As medições contínuas de satélite da constante solar revelavam ciclos dentro de limites estreitos, dificilmente uma parte em mil. No entanto, o aumento da temperatura global desde a década de 1970 foi acelerando a um ritmo recorde, registrando um total de 0,8 C de aquecimento desde o final do século XIX. Parecia impossível explicar isso usando o sol sozinho, sem invocar gases de efeito estufa. “Nos últimos 20 anos”, um grupo revisando os dados relatou em 2007, “todas as tendências do Sol que poderiam influenciar o clima da Terra estão na direção oposta àquela necessária para explicar o aumento observado na média global de temperaturas”. Havia sido um golpe de sorte que a ascensão da atividade solar desde o século XIX parou nos anos 60. Pois, se a atividade solar continuasse a aumentar, as temperaturas globais poderiam ter subido de forma mais rápida, mas os cientistas teriam tido um trabalho muito mais difícil em identificar os gases de efeito estufa como sendo a principal causa do aquecimento global.

A importância da alegação de que as variações solares influenciavam o clima estava agora invertida. Críticos haviam usado essa alegação para se opor à regulamentação de gases de efeito estufa. Mas o que esperar se o planeta realmente reagisse com extrema sensibilidade às mudanças quase imperceptíveis na radiação que chega do Sol? Se este é o caso, então o planeta certamente seria similarmente sensível à interferência dos gases de efeito estufa. Alguns dos cientistas que relataram evidências de conexões passadas entre as mudanças solares e climáticas advertiram explicitamente que seus dados não mostraram que o corrente aquecimento global era natural - apenas mostrava a extrema sensibilidade do sistema climático a pequenas perturbações. De volta a 1994, um painel da Academia Nacional de Ciências dos EUA estimara que se a radiação solar enfraquecesse tanto quanto durante o Mínimo Maunder do século XVII, todo o efeito seria compensado por duas décadas de acumulação de gases de efeito estufa. Um estudo de 2010 relatou que, com a crescente taxa de emissões, no final do século XXI um efeito solar Maunder-Mínimo seria compensado em uma única década. Como um especialista explicou, a Pequena Idade do Gelo "foi um mero 'pontinho' em comparação com a futura mudança climática esperada".

### Apêndice I: *Scaffold* de argumentação utilizado no Estudo 3

#### *Modelo de Argumentação*<sup>170</sup>

<b>Questão:</b> Apresenta a questão a ser respondida.	
<p><b>Proposição Defendida:</b> apresenta a proposição, hipótese ou teoria a ser defendida.</p>	<p><b>Proposição Competidora:</b> apresenta a proposição, hipótese ou teoria a ser que deverá ser alvo de objeção e refutação.</p>
<b>Argumento</b>	
<p><b>Evidência:</b> apresenta os dados e evidências que dão suporte à conclusão (proposição defendida).</p>	<p><b>Refutação da proposição competidora:</b>  Apresenta as evidências e razões que explicam porque a proposição competidora é provavelmente falsa e pode ser eliminada.</p>
<p><b>Raciocínio:</b> apresenta o raciocínio que explica por que os dados e evidências fornecem justificção para a conclusão.</p>	
<p><b>Conclusão:</b> apresenta a conclusão do argumento (proposição defendida)</p>	

<sup>170</sup> Inspirado no trabalho de Lambert, J., & Bleicher, R. (2017). Argumentation as a strategy for increasing preservice teachers' understanding of climate change, a key global sociocientific issue. *International Journal of Education in Mathematics, Science and Technology*, 5(2), 101-112.

## **Apêndice J: Argumentos Céticos presentes no Filme<sup>171</sup> e abordados no Estudo 3**

### ***1) O CO<sub>2</sub> e a temperatura caminham em direções opostas***

Entre 1940 e 1975 as temperaturas diminuíram, justo no período em que emissões de CO<sub>2</sub> cresceram exponencialmente o que demonstra que o CO<sub>2</sub> e a temperatura caminham em direções opostas. Ou seja, a teoria do CO<sub>2</sub>, que prevê aumento da temperatura com o aumento das concentrações de CO<sub>2</sub> não se sustenta.

### ***2) Vapor d'água compõe 95% dos gases de efeito estufa, o CO<sub>2</sub> é irrelevante.***

O CO<sub>2</sub> constitui uma parcela muito pequena da atmosfera, apenas 0,054%. Considerando os demais gases estufa o papel do CO<sub>2</sub> é muito modesto. O vapor d'água é muito mais importante, sendo responsável por 95% dos gases de efeito estufa.

### ***3) Medições de satélites e balões meteorológicos não revelam a mancha quente de 10 km de altitude prevista pela teoria do CO<sub>2</sub>.***

Dados de satélites e balões meteorológicos revelam que não existe a mancha quente na região de 10 km de altitude conforme previsto pelos modelos climáticos que empregam a teoria do CO<sub>2</sub>. Logo a teoria está falsificada.

### ***4) A temperatura sobe antes do CO<sub>2</sub>, logo o CO<sub>2</sub> não é a causa do aumento da temperatura.***

Registros de cilindros de gelo (paleoclima) demonstram que a temperatura sobe cerca de 800 anos antes do CO<sub>2</sub> aumentar. Assim, o aumento da temperatura não é causado pelo CO<sub>2</sub>, pelo contrário, é o aumento da temperatura que causa o aumento do CO<sub>2</sub>.

### ***5) O CO<sub>2</sub> não é um poluente, mas um ingrediente essencial da vida.***

Seres vivos (plantas, animais, etc.) precisam do CO<sub>2</sub> para crescer, assim, CO<sub>2</sub> não pode ser considerado um poluente.

### ***6) Emissões naturais de CO<sub>2</sub> são muito maiores que as emissões humanas, logo as emissões antropogênicas são desprezíveis.***

Emissões naturais de CO<sub>2</sub> (de vulcões, animais e bactérias, vegetais mortos, oceanos, etc.)

---

<sup>171</sup> “A grande farsa do aquecimento global” (documentário) <https://www.youtube.com/watch?v=tpvpiBiuki4> e Skeptical Science <https://www.skepticalscience.com/translation.php?a=82&l=10>.

são muito maiores que as emissões humanas. Vulcões emitem mais CO<sub>2</sub> que todas as atividades humanas juntas. Animais e bactérias produzem 150 gigatoneladas de CO<sub>2</sub> anuais, comparados com apenas 6,5 gigatoneladas de emissões humanas. Vegetais mortos também produzem mais CO<sub>2</sub> que os humanos. Por fim, oceanos são uma fonte ainda maior de CO<sub>2</sub>. Logo, as emissões antropogênicas são desprezíveis.

**7) *O Sol é causa do aquecimento global, o CO<sub>2</sub> é irrelevante.***

O estudo de Christensen, & Lassen (1991) evidencia que existe uma correlação muito boa entre o Sol e a temperatura global do Século XX. Por sua vez, o CO<sub>2</sub> não apresenta uma boa correlação com a temperatura. Assim, não é o CO<sub>2</sub>, mas o Sol a causa do aquecimento global. Por sua vez, o CO<sub>2</sub> não apresenta uma boa correlação com a temperatura.

**8) *O Sol afeta a quantidade de raios cósmicos que chegam a Terra. Os raios cósmicos influenciam a cobertura de nuvens e, conseqüentemente, o clima da Terra.***

A atividade do Sol regula a quantidade de raios cósmicos que chegam a Terra. Um Sol mais ativo, implica em um campo magnético mais forte, logo menos raios cósmicos chegam a Terra. Raios cósmicos determinam a cobertura de nuvens da Terra, modificando o albedo da Terra e, conseqüentemente, a temperatura do planeta. Logo, são os raios cósmicos (e indiretamente o Sol) os responsáveis pelo aumento da temperatura do planeta.

**Respostas aos Argumentos Céticos Apresentados no Filme:**

**1) *O que causou o aquecimento do início do século XX?***

<https://www.skepticalscience.com/translation.php?a=10&l=10>

**2) *Explicando como o vapor d'água atua no efeito estufa***

<https://www.skepticalscience.com/translation.php?a=19&l=10>

**3) *Entendendo o significado do hot spot troposférico***

<https://www.skepticalscience.com/translation.php?a=120&l=10>

**4) *Temperatura sobe antes do CO<sub>2</sub> o que isso significa?***

<https://www.skepticalscience.com/translation.php?a=7&l=10>

**5) *O CO<sub>2</sub> é um poluente?***

<https://www.skepticalscience.com/translation.php?a=100&l=10>

**6) *O quanto as emissões de CO<sub>2</sub> antrópicas se comparam às emissões naturais? Vulcões emitem mais CO<sub>2</sub> do que os humanos?***

<https://www.skepticalscience.com/translation.php?a=16&l=10>

<https://www.skepticalscience.com/translation.php?a=28&l=10>

**7) *O Sol é causa do aquecimento global, o CO<sub>2</sub> é irrelevante.***

<https://www.skepticalscience.com/translation.php?a=18&l=10>

**8) *São os raios cósmicos?***

<https://www.skepticalscience.com/translation.php?a=8&l=10>

**Outros Argumentos e Respostas:**

***Medidas de temperatura são confiáveis?***

<https://www.skepticalscience.com/translation.php?a=110&l=10>

***Aquecimento parou em 1998?***

<https://www.skepticalscience.com/translation.php?a=11&l=10>

***Efeito do CO<sub>2</sub> saturado?***

<https://www.skepticalscience.com/translation.php?a=82&l=10>

***Está esfriando?***

<https://www.skepticalscience.com/translation.php?a=33&l=10>

***Há consenso?***

<https://www.skepticalscience.com/translation.php?a=17&l=10>

***Período Medieval quente***

<https://www.skepticalscience.com/translation.php?a=4&l=10>

***Video - Making Sense of Climate Change Denial***

<https://www.youtube.com/channel/UCmxzubbVw6jXA7Ak08StYug>

## **Apêndice K: Resposta ao argumento cético (1) utilizado no Estudo 3**

### **O quanto as emissões de CO<sub>2</sub> antrópicas se comparam às emissões naturais?**

Fonte: <https://www.skepticalscience.com/translation.php?a=16&l=10>

#### ***O que a ciência diz***

O CO<sub>2</sub> emitido pela natureza (pelos oceanos e pela vegetação) é equilibrado pela absorção natural (novamente pelos oceanos e vegetação). Assim, as emissões antrópicas perturbam o balanço natural, levando o CO<sub>2</sub> a níveis nunca antes vistos em 800.000 anos. De fato, humanos emitem 26 gigatoneladas de CO<sub>2</sub> por ano, enquanto que as concentrações de CO<sub>2</sub> na atmosfera estão aumentando apenas 15 gigatoneladas - muito das emissões antrópicas estão sendo absorvidas por sumidouros naturais.

#### ***Argumento cético...***

As emissões antrópicas são uma pequena porcentagem das emissões de CO<sub>2</sub>. "Os oceanos contêm 37.400 bilhões de toneladas (GT) de carbono em suspensão, a biomassa terrestre entre 2000-3000 GT. A atmosfera contém 720 bilhões de toneladas de CO<sub>2</sub> e os humanos contribuem apenas com uma carga de 6 GT nesse balanço. Os oceanos, a terra e a atmosfera trocam continuamente CO<sub>2</sub> entre si, então a carga antrópica adicional é incrivelmente pequena. Uma pequena mudança no balanço entre oceano e atmosfera causaria uma elevação muito mais severa do CO<sub>2</sub> do que qualquer quantidade que nós possamos emitir" (Jeff Id)

#### ***Resposta:***

Emissões antrópicas de CO<sub>2</sub> representam uma parcela muito menor que as emissões naturais. O consumo da vegetação por animais e micróbios contribui com aproximadamente 220 gigatoneladas de CO<sub>2</sub> por ano. A respiração da vegetação emite aproximadamente 220 gigatoneladas. A emissão dos oceanos é de aproximadamente 332 gigatoneladas. Em contraste, quando se combinam os efeitos da queima de combustíveis fósseis e mudança no uso do solo, as emissões de CO<sub>2</sub> representam apenas 29 gigatoneladas por ano. No entanto, a emissão natural de CO<sub>2</sub> (dos oceanos e da vegetação) são equilibradas pela absorção natural (dos próprios oceanos e vegetação). Plantas terrestres absorvem aproximadamente 450 gigatoneladas de CO<sub>2</sub> por ano e os oceanos absorvem 338 gigatoneladas. Isso mantém os níveis de CO<sub>2</sub> aproximadamente em balanço. As emissões antrópicas de CO<sub>2</sub> perturbam o equilíbrio natural.

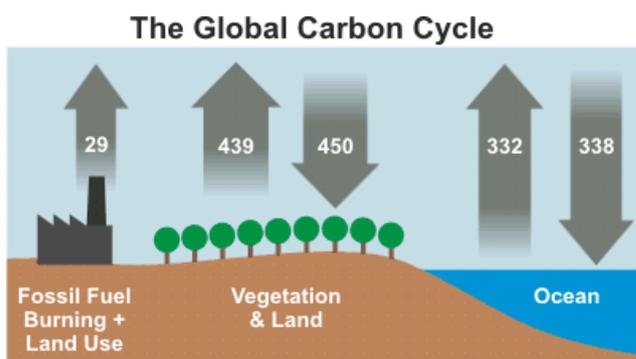


Figura 1: Ciclo global do carbono. Números representam o fluxo do dióxido de carbono, em gigatoneladas (Fonte: Figura 7.3, IPCCAR4).

Aproximadamente 40% das emissões antrópicas estão sendo absorvidas, a maioria pela vegetação e pelos oceanos. O restante permanece na atmosfera. Como consequência, os níveis de CO<sub>2</sub> atmosférico estão nos níveis mais altos observados nos últimos 15 a 20 milhões de anos (Tripathi 2009). O recente aumento de 100 ppm levou apenas 120 anos.

Uma confirmação adicional de que os níveis de CO<sub>2</sub> têm aumentado devido às atividades antrópicas vem da análise das razões dos isótopos de carbono (ex.: átomos de carbono com diferentes números de nêutrons) encontrados na atmosfera. O carbono 12 tem 6 nêutrons, o carbono 13 tem 7. Plantas têm uma razão C13/C12 menor que a da atmosfera. Se o aumento do CO<sub>2</sub> atmosférico advém da queima de combustíveis fósseis, a razão C13/C12 deveria estar caindo. De fato, isso é o que está ocorrendo (Ghosh 2003). A razão C13/C12 se correlaciona com a tendência das emissões globais.

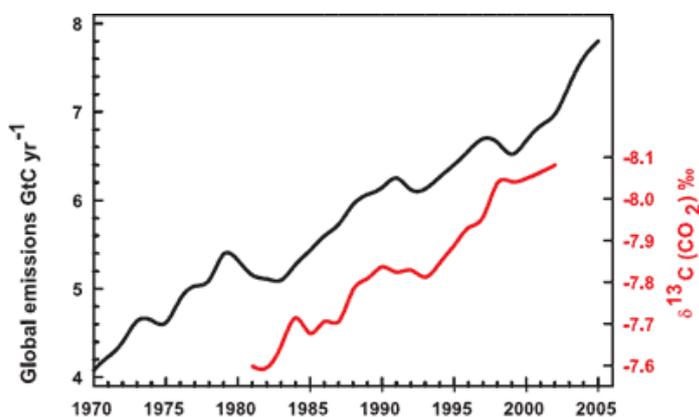


Figura 2: Emissões anuais globais de CO<sub>2</sub> a partir da queima de combustíveis fósseis e fabricação de cimento, em GtC/ano (em preto) e médias anuais da razão <sup>13</sup>C/<sup>12</sup>C medidas em CO<sub>2</sub> atmosférico no Mauna Loa, de 1981 a 2002 (vermelho). Os dados isotópicos são expressos em desvio de  $\delta^{13}\text{C}(\text{CO}_2)\text{‰}$  (per mil) em relação a um padrão de calibração. Note que essa escala está invertida para melhorar a clareza (IPCC AR4).

***Vulcões emitem mais CO2 do que os humanos?***

<https://www.skepticalscience.com/translation.php?a=28&l=10>

***O que a ciência diz***

Humanos emitem 100 vezes mais CO2 do que os vulcões.

***Argumento cético...***

Vulcões emitem mais CO2 do que os humanos "O incremento de CO2 na atmosfera pelos humanos deve ser considerado sob esta perspectiva. Ao longo dos últimos 250 anos, os humanos têm adicionado à atmosfera somente uma parte em 10.000 de CO2. Uma erupção vulcânica pode fazer isso em um dia." (Ian Plimer)

***Resposta:***

A parte sólida da terra contém uma grande quantidade de carbono, muito maior do que aquela presente na atmosfera ou nos oceanos. Parte desse carbono é lentamente liberado das rochas na forma de dióxido de carbono, e através das aberturas de vulcões e fontes termais. As emissões vulcânicas são uma parte pequena mas importante do ciclo global do carbono. Revisões da literatura científica publicadas por Mörner & Etiope (2002) e Kerrick (2001) relatam uma faixa de emissões de 65 a 319 milhões de toneladas de CO2 por ano. Os argumentos contrários de que os vulcões, especialmente os vulcões submarinos, produzem quantidades de CO2 enormemente maiores do que essas estimativas não são corroboradas por nenhum artigo publicado pelos cientistas que estudam o assunto.

A queima de combustíveis fósseis e as mudanças no uso da terra resultaram na emissão de, aproximadamente, 34 *bilhões* de toneladas de dióxido de carbono para a atmosfera, por ano, em todo o mundo, de acordo com a Administração de Informação sobre Energia dos EU (EIA). Os números das emissões a partir dos combustíveis fósseis são cerca de 100 vezes maiores do que as estimativas máximas para os fluxos de CO2 vulcânicos. Nossa compreensão sobre as descargas vulcânicas de CO2 teria que estar muito errada antes que estas pudessem ser consideradas, exceto em certo grau, como a principal contribuição para as recentes mudanças observadas na concentração de CO2 na atmosfera terrestre.

Vulcões podem—e o fazem—influenciar o clima global ao longo de um período de alguns anos, mas isso acontece pela injeção de aerossóis de sulfato na alta atmosfera durante erupções vulcânicas muito violentas, que acontecem esporadicamente a cada século. Mas isso é outra história...

## Apêndice L: Resposta ao argumento cético (2) utilizado no Estudo 3

### Explicando como o vapor d'água atua no efeito estufa

Fonte: <https://www.skepticalscience.com/translation.php?a=19&l=10>

#### *O que a ciência diz...*

O vapor d'água é o gás de efeito estufa mais dominante. Ele também é o mais forte *feedback* positivo do nosso clima, amplificando qualquer aquecimento causado pelas mudanças nas concentrações de CO<sub>2</sub> atmosférico. O *feedback* positivo é a explicação da sensibilidade do nosso clima ao aquecimento pelo CO<sub>2</sub>.

#### *Argumento cético...*

O vapor d'água é o gás de efeito estufa mais poderoso. "O vapor d'água é o gás de efeito estufa mais importante. Isso faz parte da dificuldade do público e da mídia entenderem que 95% dos gases de efeito estufa são formados por vapor d'água. O que o público entende é que, se for uma noite de outono ou primavera e o céu estiver claro, o calor irá escapar, a temperatura cairá e começará a gear. Se o céu estiver encoberto, o calor ficará aprisionado pelo vapor d'água, como gás de efeito estufa, e a temperatura se manterá relativamente quente. Se você for à região de In Salah, no Sul da Argélia, eles marcaram em um mesmo ponto a temperatura de 52 graus Celsius, ao meio-dia, e à meia-noite do mesmo dia, -3,6 graus Celsius. [...] Isso foi causado porque não havia, ou havia muito pouco, vapor d'água na atmosfera e isso demonstra que o vapor d'água é de fato o gás de efeito estufa mais importante." (Tim Ball)

#### *Resposta:*

O Vapor d'água é o gás de efeito estufa mais dominante. O efeito estufa ou fluxo radiativo da água é de cerca de 75 W/m<sup>2</sup>, enquanto o dióxido de carbono contribui com 32 W/m<sup>2</sup> (Kiehl 1997). Essas proporções são confirmadas através da medição do retorno da radiação infravermelha para a superfície da Terra (Evans 2006). O vapor d'água também é o efeito de retroalimentação (*feedback*) positiva dominante no nosso clima e a principal razão pela qual a temperatura é tão sensível às mudanças nas concentrações de CO<sub>2</sub>.

Ao contrário das forças externas, tais como o CO<sub>2</sub>, que podem ser adicionadas à atmosfera, o nível de vapor d'água na atmosfera é uma função da temperatura. O vapor d'água é trazido para a atmosfera através da evaporação - a taxa de evaporação depende da temperatura dos oceanos e do ar, sendo governada pela equação Clausius-Clapeyron. Se mais água é adicionada à atmosfera, esta condensa e cai na forma de chuva ou neve, em uma ou duas semanas. Da mesma forma, se a umidade sair da atmosfera, a evaporação restaurará os níveis de vapor d'água para os 'níveis normais' em um período curto de tempo.

### *O vapor d'água como feedback positivo*

Como o vapor d'água está diretamente relacionado à temperatura, ele atua também como um *feedback* positivo - de fato, o maior *feedback* positivo do clima (Soden 2005). A medida que a temperatura sobe, a evaporação aumenta e mais vapor d'água se acumula na atmosfera. Por ser um gás de efeito estufa, o vapor d'água absorve mais calor, promovendo o aquecimento do ar e causando mais evaporação. Quando o CO<sub>2</sub> é adicionado à atmosfera, por ser um gás de efeito estufa, ele tem um efeito de aquecimento. Isso leva a evaporar mais água e aquecer o ar, a níveis altos e estáveis. Dessa forma, o aquecimento causado pelo CO<sub>2</sub> é amplificado.

Em quanto o vapor d'água amplifica o aquecimento pelo CO<sub>2</sub>? Sem nenhum *feedback*, o dobro da quantidade de CO<sub>2</sub> aqueceria o globo em cerca de 1°C. Levando isso em conta, o *feedback* do vapor d'água praticamente dobra a quantidade de aquecimento pelo CO<sub>2</sub>. Quando outros *feedbacks* são incluídos (p.ex. - perda de albedo devido ao derretimento do gelo), o aquecimento total em função da duplicação do CO<sub>2</sub> é de cerca de 3°C (Held 2000).

Observações empíricas do *feedback* do vapor d'água e da sensibilidade climática O efeito amplificado do vapor d'água foi observado durante o resfriamento global após a erupção do Monte Pinatubo (Soden 2001). Esse resfriamento levou a uma diminuição da umidade atmosférica o que amplificou a queda da temperatura. Uma sensibilidade climática de cerca de 3°C também foi confirmada por inúmeros estudos empíricos os quais examinaram como o clima respondeu a diferentes forçantes no passado (Knutti & Hegerl 2008).

Satélites tem observado um aumento no vapor d'água atmosférico de cerca de 0.41 kg/m<sup>2</sup> por década, desde 1988. Um estudo de detecção e atribuição, também conhecido como "*fingerprinting*", foi utilizado para identificar a causa do aumento nos níveis de vapor d'água (Santer 2007). Estudos de *fingerprinting* envolvem rigorosos testes estatísticos das diferentes justificativas possíveis para uma mudança em algumas propriedades do sistema climático. Os resultados de 22 modelos climáticos distintos (praticamente, todos os principais modelos climáticos do mundo) foram agrupados e o que se encontrou é que o recente aumento na umidade sobre a maior parte dos oceanos não se deve à radiação solar ou a uma recuperação gradual da erupção do Monte Pinatubo de 1991. O principal direcionador do 'umedecimento atmosférico' é o aumento na concentração de CO<sub>2</sub> causado pela queima dos combustíveis fósseis.

Teorias, observações e modelos climáticos mostram que o aumento do vapor d'água é de cerca de 6 a 7,5% para cada grau Celsius de aquecimento da camada inferior da atmosfera. As mudanças observadas na temperatura, umidade, e circulação atmosférica se encaixam, internamente e fisicamente, de forma consistente. Quando os céticos citam o vapor d'água como o gás de efeito estufa dominante eles estão, na verdade, invocando o *feedback* positivo que faz nosso clima ser tão sensível ao CO<sub>2</sub>, como mais uma evidência do aquecimento global de origem antrópica.

**Texto Adicional: American Chemical Society**

<https://www.acs.org/content/acs/en/climate-science/climate-science-narratives/its-water-vapor-not-the-co2.html>

*(Tradução parcial)*

É verdade que o vapor d'água é o maior contribuinte para o efeito estufa da Terra. Em média, é responsável por cerca de 60% do efeito de aquecimento. No entanto, o vapor d'água não controla a temperatura da Terra, mas é controlado pela temperatura. Isso ocorre porque a temperatura da atmosfera circundante limita a quantidade máxima de vapor de água que a atmosfera pode conter. Se um volume de ar contiver sua quantidade máxima de vapor de água e a temperatura for diminuída, parte do vapor de água se condensará para formar água líquida. É por isso que as nuvens se formam quando o ar quente que contém vapor d'água sobe e esfria em altitudes mais elevadas, onde a água se condensa às minúsculas gotículas que formam as nuvens.

Se não houvesse aumento nas quantidades de gases de efeito estufa não condensáveis, a quantidade de vapor de água na atmosfera não teria mudado, com todas as outras variáveis permanecendo as mesmas. A adição dos gases não condensáveis faz com que a temperatura aumente e isso leva a um aumento no vapor de água que aumenta ainda mais a temperatura. Este é um exemplo de um efeito de feedback positivo. O aquecimento devido ao aumento de gases não condensáveis faz com que mais vapor de água entre na atmosfera, o que aumenta o efeito dos não-condensáveis.

### Apêndice M: Resposta ao argumento cético (3) utilizado no Estudo 3

#### O efeito CO<sub>2</sub> está saturado?

Fonte: <https://www.skepticalscience.com/translation.php?a=82&l=10>

#### *O que a ciência diz...*

A noção de que o efeito CO<sub>2</sub> está 'saturado' se baseia em um mal entendido sobre o funcionamento do efeito estufa.

#### *Argumento cético...*

O efeito CO<sub>2</sub> está saturado. "Cada unidade de CO<sub>2</sub> que você coloca na atmosfera tem cada vez menos impacto sobre o aquecimento. Uma vez que a atmosfera atinge o ponto de saturação, entradas adicionais de CO<sub>2</sub> não têm realmente grande impacto. É como colocar isolamento no seu sótão. Eles recomendam uma quantidade, depois disso você pode empilhar o isolamento até o telhado que não terá nenhum impacto adicional." (Marc Morano, citado por Steve Eliot)

#### *Resposta*

A ideia equivocada de que o Efeito Estufa está 'saturado', e que adicionar mais CO<sub>2</sub> não terá virtualmente nenhum efeito, está baseada em um simples equívoco sobre o funcionamento do Efeito Estufa.

O mito diz o seguinte:

- O CO<sub>2</sub> absorve quase toda a radiação infravermelha (calor) que deixa a superfície da Terra que ele é capaz de absorver. **Verdade!**
- Portanto, adicionar mais CO<sub>2</sub> não fará com que mais radiação IV seja absorvida na superfície. **Verdade!**
- Portanto, adicionar mais CO<sub>2</sub> não pode causar mais aquecimento. **FALSO!!!**

Aqui está o porquê; ele ignora a aritmética mais simples. Se o ar está absorvendo somente o calor da superfície, então ele deveria ficar cada vez mais e mais quente. Neste ponto a Terra já teria virado cinzas de tanto absorver calor. Mas surpreendentemente, não virou! O que está faltando?

O ar não apenas **absorve** calor, ele também **perde!** A atmosfera não apenas absorve radiação IV (calor) da superfície. Ela também irradia radiação IV (calor) para o espaço. Se esses dois fluxos de calor estão em equilíbrio, a atmosfera não aquece ou resfria - ela permanece igual.

Façamos uma analogia simples:

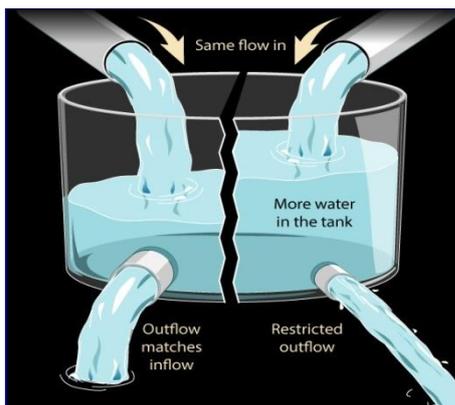
Nós temos um tanque de água. Uma bomba enche o tanque com água a, talvez, 100 litros

por minuto. E um tubo de saída remove a água do tanque à velocidade de 100 litros por minuto. O que está acontecendo com o nível de água no tanque? Ele permanece estável porque os fluxos para dentro e para fora do tanque são iguais. Em nosso exemplo, a bomba que adiciona água representa a absorção de calor pela atmosfera; a água saindo pelo tubo representa o calor sendo irradiado para o espaço. E o volume de água dentro do tanque é a quantidade de calor na atmosfera.

O que podemos fazer para aumentar o volume de água no tanque?

Podemos aumentar a velocidade da bomba que adiciona água ao tanque. Isso aumentaria o nível da água. Mas, se a bomba já estiver funcionando na sua velocidade máxima, não vou conseguir adicionar água mais rápido. O que seria compatível com a afirmação "está saturada": a bomba não pode funcionar mais rápido, assim como a atmosfera não pode absorver o calor do Sol mais rápido.

Mas, e se restringirmos a saída, de modo que seja mais difícil para a água sair do tanque? A mesma quantidade de água está entrando, mas menos água está saindo. Então o nível de água no tanque irá subir. Nós podemos mudar o nível da água no nosso tanque sem mudar a quantidade de água que está **entrando**, mas mudando a quantidade de água que está **saindo**.

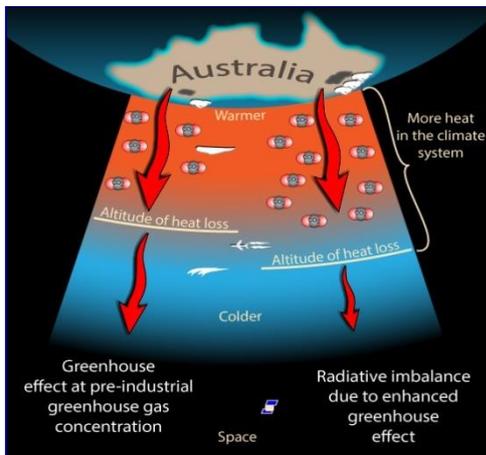


Da mesma forma, nós podemos mudar a quantidade de calor na atmosfera restringindo a quantidade de calor que **sai** dela, ao invés de aumentar a quantidade que está sendo **absorvida** por ela.

É assim que o Efeito Estufa funciona. Os gases de efeito estufa, tais como o dióxido de carbono e o vapor d'água absorvem **a maior parte** do calor que deixa a superfície da Terra. Então, sua concentração determina quanto calor escapa do topo da atmosfera para o espaço. É o que acontece no topo da atmosfera que importa, não o que acontece próximo à superfície.

Então, como mudanças na concentração de um gás de efeito estufa alteram a quantidade de calor que escapa do topo da atmosfera? À medida que subimos mais alto na atmosfera o ar se torna mais fino. Há menos gases, incluindo os de efeito estufa. Em algum momento o ar se torna tão fino que qualquer calor irradiado escapa para o espaço. A quantidade de calor que escapará para o espaço a partir dessa altitude dependerá de quão frio o ar estiver.

Quanto mais frio o ar, menos calor ele irradiará.



(OK, eu sou Australiano por isso esta imagem me atrai)

Então, se adicionarmos mais gases de efeito estufa, o ar precisará ficar mais fino antes que o calor seja capaz de escapar para o espaço. Portanto, isso só poderá acontecer bem alto na atmosfera. Onde é mais frio. Assim, a quantidade de calor escapando é reduzida.

Ao adicionar gases de efeito estufa, forçamos a radiação para o espaço a partir de um ar mais frio, mais alto, reduzindo o fluxo de radiação para o espaço. E há ainda margem para mais gases de efeito estufa empurrarem 'essa ação' cada vez mais alto, para um ar cada vez mais frio, restringindo ainda mais a taxa de radiação para o espaço. O Efeito Estufa não está nem remotamente Saturado. Mito desfeito!