



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL  
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

CIÊNCIA E IDEOLOGIA: UMA ANÁLISE CRÍTICA DA TEORIA DO  
AQUECIMENTO GLOBAL

ANDRÉ LOPES GOMES

BELO HORIZONTE

2018

ANDRÉ LOPES GOMES

CIÊNCIA E IDEOLOGIA: UMA ANÁLISE CRÍTICA DA TEORIA DO  
AQUECIMENTO GLOBAL

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Ambiental e Sanitarista.

Orientador: Prof. Dr. Paulo César Lage de Oliveira

BELO HORIZONTE

2018

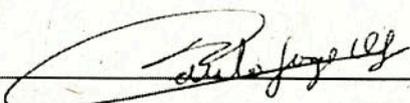
ANDRÉ LOPES GOMES

CIÊNCIA E IDEOLOGIA: UMA ANÁLISE CRÍTICA DA TEORIA DO  
AQUECIMENTO GLOBAL

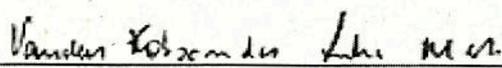
Trabalho de conclusão de curso  
apresentado ao Centro Federal de  
Educação Tecnológica de Minas Gerais  
como requisito parcial para obtenção do  
título de Engenheiro Ambiental e  
Sanitarista.

Data de aprovação: 29/06/2018

Banca Examinadora:

  
\_\_\_\_\_

Paulo César Lage de Oliveira – Presidente da Banca Examinadora  
Prof. Dr. do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - Orientador

  
\_\_\_\_\_

Vandeir Robson da Silva Matias  
Prof. Dr. do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

  
\_\_\_\_\_

Bráulio Silva Chaves  
Prof. Dr. do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

“Contra o positivismo, que pára perante os fenômenos e diz:  
‘Há apenas fatos’.eu digo: ‘Ao contrário, fatos é o que não há;  
há apenas interpretações’.”

Friedrich Nietzsche

## RESUMO

GOMES, *Ciência e Ideologia: uma Análise Crítica da Teoria do Aquecimento Global*. 2018. 138f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Departamento de Ciência e Tecnologia Ambiental, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018.

O clima é um elemento de grande importância para uma sociedade, motivo de preocupação, dado seu íntimo relacionamento com as vidas humanas. A Climatologia é, pois, a ciência que tem como objeto de estudo o clima. Nesta ciência, ultimamente tem sido concedida especial relevância à interferência de alguns componentes ambientais na atmosfera. Refere-se aqui aos chamados gases de efeito estufa, em especial ao gás carbônico (CO<sub>2</sub>). O crescimento na concentração desse gás, colocado como consequência das atividades humanas, tem sido apontado como o grande responsável pelo aumento da temperatura média do planeta observado nos últimos séculos, o que supostamente provocaria consequências negativas para toda a humanidade. Trata-se da teoria do aquecimento global que, defendida pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) e por boa parte da comunidade científica, foi alçada à condição de verdade absoluta, sendo privilegiada em detrimento de outras formas de compressão da complexa dinâmica do clima. Não obstante, uma outra parte da comunidade científica, chamada de cética, reprova de forma contundente a teoria. Este trabalho, dispondo-se a analisá-la criticamente vê que a teoria tem, de fato, dificuldades de se sustentar cientificamente, sendo composta em grande medida por crenças que não podem ser consideradas justificadas epistemicamente. Na tentativa de afirmação de uma teoria que mostra-se frágil, os ditos aquecimentistas empregam argumentos por vezes falaciosos, contendo uma série de erros de raciocínio que podem ser enquadrados em padrões incorretos de argumentação. Percebe-se que a teoria, em princípio, sem maior razão científica de ser, atua, na verdade, como uma ideologia, como forma de regulação. No final das contas, parece que a correspondência ou não da teoria com a realidade, ou seja, com a descrição do mundo real, parece ser o que menos importa, importando sim a possibilidade de que ela seja moldada pelo mercado convenientemente de forma a possibilitar o atendimento de interesses não revelados de um sistema capitalista em constante necessidade de renovação. Percebe-se uma vontade ou mesmo uma necessidade de que a teoria se mostre verdadeira, e ela faz isso por meio do forte poder de persuasão que tem junto à sociedade, mostrando-se como ideologia.

Palavras-chave: Clima. Aquecimento Global. Ciência. Ideologia.

## ABSTRACT

GOMES, Science and Ideology: a Critical Analysis of the Global Warming Theory. 2018. 138f. Monography (Undergraduate in Environmental and Sanitary Engineering) - Department of Environmental Science and Technology, Federal Center of Technological Education of Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018.

Climate is an element of great importance for a society, cause of concern, given its intimate relationship with human lives. Climatology is, therefore, the science that has as object of study the climate. In this science, special relevance has recently been accorded to the interference of some environmental components in the atmosphere. It refers here to so-called greenhouse gases, in particular to carbon dioxide (CO<sub>2</sub>). The growth in the concentration of this gas, which is a consequence of human activities, has been pointed out as the main cause of the increase in the average temperature of the planet observed in the last centuries, which supposedly would have negative consequences for the whole humanity. This is the theory of global warming, which was defended by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) and by a large part of the scientific community, was elevated to the absolute truth condition, being privileged to the detriment of other forms of comprehension of the complex climate dynamics. Nevertheless, another part of the scientific community, called the skeptic, strongly disapproves the theory. This work, being prepared to analyze it critically sees that the theory has, in fact, difficulties of sustaining itself scientifically, being composed to a large extent by beliefs that can not be considered epistemically justified. In attempting to assert a theory that is fragile, the so-called global warmers employ arguments that are sometimes fallacious, containing a series of errors of reasoning that can be framed in incorrect patterns of argumentation. It is perceived that theory, in principle, with no greater scientific reason to be, actually acts as an ideology, as a form of regulation. In the end, it seems that the correspondence or not of theory with reality, that is, with the description of the real world, seems to be the least important, but rather the possibility that it is suitably shaped by the market in order to enable the fulfillment of the undisclosed interests of a capitalist system in constant need of renewal. One realizes a will or even a need for the theory to prove true, and it does so through the strong power of persuasion it has with society, showing itself as ideology.

Keywords: Climate. Global warming. Science. Ideology.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - NOMENCLATURA DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS.....	21
FIGURA 2 - ESQUEMA DOS COMPONENTES DO SISTEMA CLIMÁTICO GLOBAL .....	32
FIGURA 3 - MECANISMOS DE REALIMENTAÇÃO CLIMÁTICA E SUAS ESCALAS DE TEMPO. .....	36
FIGURA 4 - ESTIMATIVA DO BALANÇO DE ENERGIA GLOBAL ANUAL DA TERRA .....	38
FIGURA 5 - ESQUEMA DAS BOMBAS DE CARBONO ENTRE A ATMOSFERA E O OCEANO...47	
FIGURA 6 - ÁREAS COBERTAS POR AGRICULTURA E PECUÁRIA EM 1750 E EM 1990 .....	51
FIGURA 7 - VARIAÇÕES ORBITAIS TERRESTRES: (A) EXCENTRICIDADE ORBITAL; (B) INCLINAÇÃO DO EIXO TERRESTRE; (C) PRECESSÃO DOS EQUINÓCIOS .....	57
FIGURA 8 - ESQUERDA: COMO AS ESTUFAS EFETIVAMENTE FUNCIONAM (RESULTADOS CERTOS). DIREITA: O SUPOSTO EFEITO ESTUFA, O QUE REALMENTE OCORRE NA TERRA (RESULTADOS INCERTOS) .....	78
FIGURA 9 - MUDANÇA NA TEMPERATURA SUPERFICIAL DE 1901-2012 PARA TRÊS CONJUNTOS DE DADOS .....	81
FIGURA 10 - DENSIDADE DE ESTAÇÕES PARA AS QUAIS SE TEM PELO MENOS 10 ANOS DE REGISTROS DE TEMPERATURA DIÁRIA (DESDE 1861 A 2010).....	94
FIGURA 11 - SUMÁRIO DO INDUTIVISTA INGÊNUO. ....	117
FIGURA 12 - SUMÁRIO DO INDUTIVISTA INGÊNUO COM AS DEVIDAS SUBSTITUIÇÕES. .119	
FIGURA 13 - SUMÁRIO COM AS DEVIDAS SUBSTITUIÇÕES. ....	120

## LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 – ESTIMATIVAS DE EVOLUÇÃO DA TEMPERATURA MÉDIA GLOBAL AO LONGO DO ÚLTIMO MILÊNIO .....	24
GRÁFICO 2 - DISTRIBUIÇÃO VERTICAL DA MASSA DA ATMOSFERA .....	33
GRÁFICO 3 - A ESTRUTURA DA ATMOSFERA, DE ACORDO COM AS MUDANÇAS DE TEMPERATURA.....	34
GRÁFICO 4 - ABSORÇÃO SELETIVA DA RADIAÇÃO SOLAR E TERRESTRE PELA ATMOSFERA .....	38
GRÁFICO 5 - EXCENTRICIDADE DA ÓRBITA TERRESTRE EM FUNÇÃO DO TEMPO DE 800.000 ANOS ATRÁS ATÉ DAQUI A 50.000 ANOS .....	58
GRÁFICO 6 - PARÂMETROS DE PRECESSÃO E OBLIQUIDADE EM FUNÇÃO DO TEMPO DE 150000 ANOS ATRÁS ATÉ DAQUI A 50000 ANOS. ....	59
GRÁFICO 7 - VARIAÇÕES DESDE 1978 DA: (A) RADIAÇÃO SOLAR TOTAL E (B) DO NÚMERO DE MANCHAS SOLARES. ....	61
GRÁFICO 8 - RECONSTRUÇÕES DAS ATIVIDADES SOLARES PASSADAS: (A) VARIAÇÃO DA QUANTIDADE DE MANCHAS SOLARES NO ÚLTIMOS 11000 ANOS; (B) CONCENTRAÇÃO DE RADIOCARBONO ATMOSFÉRICO NOS ÚLTIMOS 1100 ANOS .....	62
GRÁFICO 9 - NÚMERO DE MANCHAS SOLARES (LINHA 1) E ANOMALIAS GLOBAIS DE TEMPERATURA EM °C (LINHA 2).....	63
GRÁFICO 10 - DURAÇÃO DO CICLO DE MANCHAS SOLARES EM ANOS (LINHA 1) E ANOMALIAS GLOBAIS DE TEMPERATURA EM °C (LINHA 2) .....	64

GRÁFICO 11 - CURVA DE TEMPERATURA APRESENTADA POR JAMES HANSEN EM 23 DE JUNHO DE 1988, QUE MISTURA MÉDIAS ANUAIS COM UMA MÉDIA DE CINCO MESES PARA O ANO DE 1988.....	73
GRÁFICO 12 - ANOMALIAS DE TEMPERATURAS MÉDIAS GLOBAIS COMBINADAS DE SUPERFÍCIE TERRESTRE E OCEÂNICA DE 1850 A 2012, DE TRÊS CONJUNTOS DE DADOS .....	83
GRÁFICO 13 – TEMPERATURAS OBSERVADAS COMPARADAS COM TEMPERATURAS SIMULADAS PELOS MODELOS.....	84
GRÁFICO 14 - QUANTIDADE DE ESTAÇÕES PARA AS QUAIS SE TEM PELO MENOS 10 ANOS DE REGISTROS DIÁRIOS DE TEMPERATURA. ....	94
GRÁFICO 15 - ANOMALIAS MENSAS DE TEMPERATURAS MÉDIAS GLOBAIS °C DA BAIXA TROPOSFERA DE 1978 A 2018 EM RELAÇÃO À MÉDIA 1981-2010, A PARTIR DE DADOS DA UAH (VERSÃO 6.0). ....	96
GRÁFICO 16 - ANOMALIA MÉDIA GLOBAL (70S A 80N) PARA A BAIXA TROPOSFERA DE 1979 A 2017 (EM RELAÇÃO À MÉDIA DE 1979-1984).....	96
GRÁFICO 17 - CONCENTRAÇÕES ATMOSFÉRICAS DE DIÓXIDO DE CARBONO (CO <sub>2</sub> ) DE MAUNA LOA (19 ° 32'N, 155 ° 34'W - VERMELHO) E PÓLO SUL (89 ° 59'S, 24 ° 48'W - PRETO) DESDE 1958. ....	102
GRÁFICO 18 - VARIAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE CO <sub>2</sub> E DOS DESVIOS DE TEMPERATURA (CURVA INFERIOR) DOS ÚLTIMOS 420 MIL ANOS, OBTIDAS DOS CILINDROS DE GELO DA ESTAÇÃO DE VOSTOK, ANTÁRTICA.....	105
GRÁFICO 19 – GASTOS COM MUDANÇAS CLIMÁTICAS (VERMELHO) EM RELAÇÃO AOS GASTOS (A) MUNDIAIS E AS VALORES (B) COTIDIANOS (ESCALA LOGARÍTMICA). .	128

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - ESCALAS DOS SISTEMAS DE CIRCULAÇÃO METEOROLÓGICA.....	21
TABELA 2 - COMPOSIÇÃO MÉDIA DA ATMOSFERA SECA ABAIXO DE 25 QUILOMETROS..	32
TABELA 3 - TEORIAS DAS CAUSAS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS .....	42
TABELA 4 - ALBEDO DE VÁRIOS TIPOS DE NUVENS .....	49

## LISTA DE EXPRESSÕES

EXPRESSÃO 1 - REAÇÃO QUÍMICA SIMPLIFICADA DA FOTOSSÍNTESE.....	45
EXPRESSÃO 2 - REAÇÃO QUÍMICA SIMPLIFICADA DA RESPIRAÇÃO .....	45
EXPRESSÃO 3 – TROCA DE CO <sub>2</sub> ENTRE ATMOSFERA E OCEANO.....	47
EXPRESSÃO 4 – FÓRMULA DE TEMPERATURA MÉDIA PARA 24 HORAS COM 24 OBSERVAÇÕES .....	85
EXPRESSÃO 5 – TEMPERATURA MÉDIA DIÁRIA VERDADEIRA .....	86
EXPRESSÃO 6 – TEMPERATURAS MÉDIAS PARA ALGUMAS REGIÕES .....	87
EXPRESSÃO 7 – TEMPERATURAS MÉDIAS PARA O BRASIL.....	87
EXPRESSÃO 8 – FÓRMULAS PARA CÁLCULO DA TEMPERATURA MENSAL MÁXIMA, MÍNIMA E MÉDIA, RESPECTIVAMENTE.....	87
EXPRESSÃO 9 – FÓRMULA PARA CÁLCULO DAS NORMAIS PADRÃO MENSAS .....	88

# SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	11
1.1 Objetivo.....	13
1.1.1 Objetivos Específicos.....	13
1.2 Metodologia .....	14
2. CLIMATOLOGIA: FUNDAMENTOS CONCEITUAIS .....	16
2.1 A Climatologia como Ciência.....	16
2.2 Sobre Mudanças Climáticas .....	20
2.3 Indicadores de Climas Passados.....	24
2.3.1 História não Registrada .....	24
2.3.2. História Registrada.....	27
3. OS FATORES DE REGULAÇÃO DO CLIMA .....	31
3.1 Fatores Terrestres .....	42
3.1.1 Gases de Efeito Estufa.....	42
3.1.2 Nuvens.....	49
3.1.3 Aerossóis .....	50
3.1.4 Mudanças no uso da terra.....	51
3.1.5 Vulcanismo.....	52
3.1.6 Modos de variabilidade .....	53
3.1.7 Tectonismo.....	54
3.1.8 Magnetismo terrestre.....	55
3.2 Fatores Astronômicos.....	56
3.2.1 Variações orbitais terrestres .....	56
3.3 Fatores Extraterrestres.....	60
3.3.1 Sol .....	60
3.3.2. Raios cósmicos.....	64
4. TEORIA DO AQUECIMENTO GLOBAL – PANORAMA HISTÓRICO.....	66
5. AVALIAÇÃO CRÍTICA DA TEORIA DO AQUECIMENTO GLOBAL.....	77
5.1 Aspectos epistemológicos .....	77
5.1.1 Efeito estufa.....	77
5.1.2. Aumento da Temperatura Média Global e a Interferência Antrópica .....	80
5.2 Aspectos lógicos.....	107
5.3 Aspectos Ideológicos.....	116

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	132
7. REFERÊNCIAS .....	134

## 1. INTRODUÇÃO

A Climatologia, dado seu objeto de estudo, é uma ciência de grande importância para a humanidade. O conhecimento da dinâmica atmosférica mostra-se fundamental, já que esta afeta o ambiente constantemente em seus diversos componentes. Ao mesmo tempo, esses componentes ambientais também interferem na atmosfera. O que se verifica, na realidade, é uma permanente troca de energia e matéria entre todos esses sistemas ambientais, que não podem ser compreendidos separadamente.

À interferência de alguns componentes ambientais na atmosfera tem sido concedida especial relevância ultimamente na ciência climatológica. Refere-se aqui aos chamados gases de efeito estufa, principalmente ao gás carbônico (CO<sub>2</sub>). O crescimento na concentração desse gás, colocado basicamente como consequência das atividades humanas de produção de energia, particularmente da queima de combustíveis fósseis - mas também das atividades de agropecuária, vinculadas ao uso e ocupação do solo (notadamente o desmatamento), além da atividade de produção de cimento - tem sido apontado como o grande responsável pelo aumento da temperatura média do planeta observado nos últimos 150 anos.

Trata-se, portanto, da teoria do aquecimento global, defendida por boa parte da comunidade científica, chamada genericamente de aquecimentista. Artaxo (2014, p. 17) expressa que atualmente não há mais dúvidas de que a composição da atmosfera está mudando devido às emissões de gases estufa causadas pelas atividades antrópicas; Marengo (2008, p. 154) expõe que aumentos de temperatura associados à mudança do clima decorrente do aquecimento global ameaçam intensificar as dificuldades de acesso à água no Brasil, especialmente no Nordeste; Nobre (2001, p. 239) coloca que os diversos cenários de emissões de gases de efeito estufa para os próximos 100 anos indicam a possibilidade de impactos climáticos significativos para o Brasil; Hansen (2007, p. 1925, tradução nossa) que as recentes emissões humanas de gases estufa colocam a Terra perto de mudanças climáticas dramáticas que podem ficar fora de controle, com grandes perigos para o ser humano e outras criaturas.

Essa comunidade tem como porta-voz o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC). Este organismo internacional divulga, aproximadamente de 5 em 5 anos, relatórios que, de acordo com próprio Painel (2013), pretendem mostrar o estado da questão sobre a teoria, e consistir numa avaliação global da ciência das mudanças climáticas,

apresentando conclusões claras e robustas. Divulgada pela mídia<sup>1</sup>, pode-se dizer que a teoria alcançou condição de verdade absoluta na sociedade de modo geral, a considerar pelo seu grau de penetração no imaginário popular e pela sua inserção na matriz de ensino das ciências ambientais, seja no ensino básico, seja no superior. Conferências internacionais tem como pauta o aquecimento global, onde são costurados acordos para redução da emissão de gases de efeito estufa e para adoção de uma economia de baixo carbono por parte dos países.

Não obstante, vozes dissonantes, chamadas genericamente de céticas, criticam de maneira contundente a ciência produzida em relação ao tema. Molion (2008, p. 20) expressa que a variabilidade natural do clima não permite afirmar que o aquecimento observado seja decorrente da intensificação do efeito estufa causada pelo ser humano; Onça (2011) expõe as fragilidades de sustentação teoria, inclusive de acordo com o que o próprio IPCC aborda em seus relatórios; Felício (2011, p. 1224) coloca a incapacidade do ser humano de afetar o macroclima; McKitrick e McIntyre (2005, p. 1, tradução nossa) apontam para erros cometidos na produção de estudos que avalizam a teoria. Thorne, Christy e Mears *et al* (2005, p. 1437, tradução nossa) defendem que não é possível mais concluir se globalmente a troposfera está esfriando ou se aquecendo em relação à superfície; Spencer e Christy *et al* (2003, p. 1, tradução nossa) abordam as incertezas relativas às medições de temperatura via satélites. Estas vozes argumentam que a incriminação do CO<sub>2</sub> (que representa 0,04% do volume da atmosfera) como fator preponderante de mudança climática é imprópria, denotando uma visão negligente e por demasiado reducionista da dinâmica climática terrestre. Alguns, tais como Maruyama (2008, p. 69) afirmam que o que se verá no futuro em se tratando de mudanças climáticas é, provavelmente, um processo de resfriamento global.

O que ocorre, de fato, segundo Ayoade (1996, p. 212), é que vários são os fatores envolvidos na regulação do clima, seja internamente, dentro do sistema Terra-atmosfera, considerando os mecanismos de feedback, ou externamente, considerando a atividade solar e os raios cósmicos, por exemplo. A variabilidade climática tem causas diversas, agrupadas entre terrenas, astronômicas e extraterrestres, o que torna o entendimento do clima global algo bastante complexo.

---

<sup>1</sup> Abaixo, algumas reportagens envolvendo o aquecimento global:

- <http://g1.globo.com/jornal-nacional/noticia/2017/08/cientistas-dos-eua-confirmam-aquecimento-global-que-trump-nega.html>

- <https://www1.folha.uol.com.br/ambiente/2017/07/1898353-rompimento-de-plataforma-de-gelo-na-antartida-pode-ter-efeitos-terreiros.shtml>

- <https://www1.folha.uol.com.br/colunas/patriciacamposmello/2017/04/1879273-negacionistas-do-aquecimento-global-bem-vindos-a-realidade-no-queenia.shtml>

Dada a complexidade do clima terrestre, não parece nada estranho que questionamentos sejam feitos acerca da teoria do aquecimento global. Sobre o que se assenta essa teoria? Suas bases científicas são confiáveis e oferecem sustentação à teoria de fato? Por que essa teoria foi privilegiada, alcançando maior significância, em detrimento de outras formas de compreensão dos processos climáticos? Existem motivos para afirmação da teoria que residem fora da própria teoria em si, guardando relação com questões ideológicas, político-econômicas? A produção científica que avaliza a teoria do aquecimento global é legítima? O aquecimento global, existindo, seria natural ou antropogênico? Há evidências de que é antropogênico? Quais são essas evidências? As inferências a partir dessas evidências podem ser feitas sem maiores problemas? Quais são as críticas pertinentes feitas por parte daqueles que questionam a teoria?

Ao que parece, tem-se aí um campo fértil a ser explorado, seja por quem se dedica ao entendimento do clima, seja por aqueles que se interessam pelos modos de produção do saber científico e seu diálogo com a política, economia, poder e com a sociedade de forma geral. Esse trabalho configura-se justamente como um empreendimento de exploração, dedicando-se a compreender e discutir criticamente a produção científica relativa à teoria do aquecimento global. Essa exploração, bem longe de pretender esgotar o tema, se não puder fornecer as repostas às indagações feitas acima precisamente, poderá ao menos ajudar a definir melhor o contorno delas, possibilitando elucidar um pouco o que de obscuro venha a existir no que concerne à teoria do aquecimento global tal como posta.

## 1.1 Objetivo

Analisar a teoria do aquecimento global e mostrar os seus aspectos mais problemáticos, investigando suas bases científicas e a consistência de suas induções.

### 1.1.1 Objetivos Específicos

- Trabalhar a noção de clima global com base nos fundamentos da meteorologia e climatologia.
- Apresentar as diferentes linhas de pensamento acerca do tema das mudanças climáticas.
- Analisar os fundamentos da teoria do aquecimento global e investigar as críticas a respeito das evidências e inferências sobre as quais se apoia.

- Avaliar parte da produção científica sobre o assunto, apontando possíveis pontos críticos.

## 1.2 Metodologia

Este trabalho foi desenvolvido tendo por base o procedimento de levantamento bibliográfico. A pesquisa bibliográfica, de caráter qualitativo, volta-se para o aprofundamento da compressão da questão da teoria do aquecimento global enquanto uma teoria de mudança climática. Como características da pesquisa de caráter qualitativo aqui desenvolvida pode-se colocar, com base na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS, 2009): a objetificação do fenômeno estudado; hierarquização das ações de descrever, compreender, explicar a precisão das relações entre o global e o local no fenômeno; observância das diferenças entre o mundo social e o mundo natural; respeito ao caráter interativo entre os objetivos buscados pelos investigadores, suas orientações teóricas e seus dados empíricos; busca de resultados os mais fidedignos possíveis; oposição ao pressuposto que defende um modelo único de pesquisa para todas as ciências.

A pesquisa foi empreendida focalizando o campo de conhecimento da climatologia, adotando como a principal obra de referência nesse campo o livro intitulado *Introdução à Climatologia para os Trópicos* (1996), do climatologista Ayoade. Para a realização do levantamento bibliográfico e discussão foram pesquisados também outros livros, publicações científicas em geral concernentes ao tema em questão, como artigos científicos, dissertações de mestrado e teses de doutorado.

Foram consultados também documentos de natureza diversa, produzidos por organismos internacionais e nacionais, que tragam em seu conteúdo o assunto das mudanças climáticas. Especial atenção foi concedida ao mais recente relatório produzido pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC): o *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*, pertencente ao Fifth Assessment Report. Este relatório consiste no que se entende pelo estado atual de conhecimento científico mundial a respeito do tema das mudanças climáticas.

O trabalho procurou, primeiramente, trabalhar a noção do que vem a ser o clima terrestre, procurando mostrar como ele pode ser compreendido e quais são os fatores responsáveis por sua regulação. Em seguida, buscou apresentar a teoria do aquecimento global, oferecendo uma breve incursão histórica sobre o tema. E, finalmente, se propôs a fazer uma discussão

estruturada em três aspectos: aspectos epistemológicos, aspectos lógicos, e aspectos ideológicos da teoria do aquecimento global.

## 2. CLIMATOLOGIA: FUNDAMENTOS CONCEITUAIS

### 2.1 A Climatologia como Ciência

A ciência climatológica tem como objeto de estudo o clima, fator sempre interveniente na vida humana, capaz de afetá-la nos seus mais diversos aspectos. Como parte integrante do ambiente, o ser humano naturalmente está sujeito a toda sorte de variações do tempo. Não é surpresa, dessa forma, sua preocupação, desde os primórdios, com o tempo e com seu ritmo habitual, ou seja, com clima. Nem é surpresa que essa preocupação tenha vindo a compor distintas formas de saber produzidas pela humanidade.

Até por volta do quinto século antes de Cristo, expõe Ayoade (1996, p. 5), considerava-se que os fenômenos do tempo eram controlados pelos deuses. Foi quando os gregos começaram a fazer observações meteorológicas. Este fato trouxe uma atitude mais nova e mais científica para o estudo do tempo, conforme exemplificado em “Ares, Águas e Lugares”, escrito por Hipócrates por volta do ano 400 a.C, e em “Meteorologica”, escrita por Aristóteles, cinquenta anos depois.

Atribui-se a Hipócrates, o mérito de ter publicado uma das obras mais antigas relacionando as influências do clima sobre os seres vivos. A obra intitulada “Ares, águas e lugares” (400 a.C.) dedicou os seus primeiros capítulos às influências da localização de uma cidade em relação aos ventos predominantes em cada estação do ano. Hipócrates também relacionou as influências climáticas numa escala mais geral, comparando as características físicas e de caráter dos habitantes de algumas áreas do velho mundo, além das características da fauna e da flora. O trabalho pioneiro de Hipócrates também procurava relacionar os efeitos terapêuticos do clima para o homem (JESUS, 2008, p. 166-167).

O desenvolvimento, porém, de uma ciência do clima propriamente, até atingir a formatação e estágio nos quais se encontra nos tempos atuais, se deu, em maior parte, conjuntamente com o desenvolvimento da ciência moderna. Assim, pode-se dizer que, a barlavento de algumas áreas da ciência, a Climatologia se estabeleceu como uma ciência de fato.

A Climatologia surgiu como um campo específico do conhecimento científico com identidade própria somente após a sistematização da Meteorologia, no final do século XIX, na Alemanha. Na realidade, a Climatologia é uma extensão da Meteorologia, ou seja, estuda as condições meteorológicas a longo prazo. Apesar de utilizar métodos comuns à Meteorologia, seus objetivos e propósitos são eminentemente geográficos. Os estudos do clima no campo da Geografia estão direcionados para a espacialização dos elementos e fenômenos atmosféricos, buscando explicar sua dinâmica processual. A Meteorologia é uma ciência exata, que trata da dimensão física da atmosfera, produtora da gama de conhecimentos que explicam a extrema dinamicidade do ar atmosférico, tendo como produto de aplicação direta a previsão do tempo (JESUS, 2008, p. 166).

Dessa forma, é natural que Climatologia e Meteorologia apresentem bastante conteúdo em comum, com muitas similaridades. A diferença fundamental entre as duas ciências reside na distinção entre seus objetos de estudo. Segundo Ayoade (1996, p. 2), usualmente é feita uma distinção entre tempo e clima, e entre meteorologia e climatologia.

Por tempo (weather) nós entendemos o estado médio da atmosfera numa dada porção de tempo em determinado lugar. Por outro lado, clima é a síntese do tempo num dado lugar durante o período de aproximadamente 30-35 anos. O clima, portanto, refere-se às características da atmosfera, inferidas de observações contínuas durante um longo período. O clima abrange um maior número de dados do que as condições médias do tempo numa determinada área. Ele inclui considerações dos desvios em relação às médias (isto é, variabilidade), condições extremas, e as probabilidades de frequência de ocorrência de determinadas condições de tempo. Desta forma, o clima apresenta uma generalização, enquanto o tempo lida com eventos específicos (AYOADE, 1996, p. 2).

Dáí que, prossegue o autor, a meteorologia é geralmente definida como a ciência da atmosfera, estando relacionada ao estado físico, dinâmico e químico da atmosfera e às interações entre eles e a superfície terrestre subjacente. A climatologia é o estudo científico do clima. Em relação à metodologia científica, enquanto o meteorologista emprega as leis da física clássica e as técnicas matemáticas em seu estudo de processos atmosféricos, o climatólogo utiliza principalmente técnicas estatísticas quando retira informações disponíveis sobre o tempo. Entretanto, sublinha ainda Ayoade (1996, p. 2, 3), a Climatologia está baseada na Meteorologia, que, por sua vez, está calcada nos princípios da Física e da Matemática. A meteorologia acaba englobando tanto tempo como clima, enquanto os elementos da

meteorologia devem estar necessariamente incorporados na climatologia para torná-la significativa e científica. O tempo e o clima, indissociáveis por completo, podem juntos ser considerados como uma consequência e uma demonstração da ação dos processos complexos na atmosfera, nos oceanos e na terra.

Essa visão do clima como sistema dinâmico e complexo, composto por encadeamentos sucessivos e habituais de tempo, marca a abordagem predominante empregada na climatologia nos tempos atuais. Trata-se da Climatologia Dinâmica. É o que expõe Oliveira (2010, p. 9), mostrando que a “climatologia apresentou uma evolução nos conceitos de clima, em que se verificam duas diferentes abordagens: a clássica e a dinâmica.”

A Climatologia Clássica ou Tradicional esforça-se para descrever os fenômenos climáticos. Segundo Ayoade (1996, p. 5), está fundamentalmente preocupada com os padrões de distribuição temporal e espacial dos elementos do tempo, de áreas que vão desde 1 a 2 quilômetros quadrados até áreas imensas, perpassando por toda a extensão territorial do planeta. O método de distribuição é cartográfico, representativo, constituindo-se de mapas de médias ou gráficos que evidenciam variações diurnas e sazonais, bem como diferenças espaciais nos valores dos elementos climáticos, tais como temperatura, pressão, umidade, velocidade, direção dos ventos, quantidade de nuvens, etc.

As definições clássicas do clima, propostas por Hann (1882, *apud* SORRE, 2006) e Koppen (1948, *apud* PITTON, 1985) compreendiam o clima como o estado médio da atmosfera sobre um determinado lugar, fundamentados em parâmetros estáticos, cujo objetivo era calcular as médias, abrangendo longas séries de observações e, por meio da avaliação de cada uma destas e de sua comparação, se chegar à caracterização do clima (OLIVEIRA, 2010, p. 10).

Por ser uma abordagem essencialmente descritiva, apresenta várias deficiências, propiciando concepções errôneas sobre o modo de funcionamento dos processos climáticos, explicita Ayoade (1996, p. 6), que recorre a Atkinson (1972) para bem identificar e discutir quatro dessas deficiências. A primeira crítica à Climatologia Tradicional refere-se ao fato de ela não ser explicativa, mas sim descritiva. Os mapas de médias dos elementos não dão ideia sobre os processos que originam sua distribuição. A segunda crítica é de que essa abordagem tende a dar a impressão de uma atmosfera estática, enquanto a atmosfera é dinâmica e está em constante turbulência. A terceira crítica é a tendência em negligenciar as interações, isto é, os mecanismos de feedback que operam na atmosfera. Os processos interagem e se afetam

mutuamente, e frequentemente os efeitos retornam reagindo para provocar mudanças ou modificações em suas causas. A quarta crítica dos métodos da Climatologia Tradicional volta-se para a classificação climática, sendo que as linhas traçadas nos mapas dão a impressão errônea de mudanças abruptas em tais linhas demarcatórias. Da mesma forma, os climas definidos para as áreas são frequentemente considerados como entidades climáticas separadas e explicadas como tais, usualmente apenas com referência aos fenômenos de superfície. Essa abordagem ignora o fato de que o clima tem uma terceira dimensão (a vertical), e que as características atmosféricas em determinado local só podem ser explicadas de maneira significativa quando consideradas no contexto das atividades da atmosfera como um todo.

E, justamente da necessidade de explicação do clima, da compreensão da dinâmica dos eventos climáticos, surgiu a Climatologia Dinâmica. Segundo Oliveira (2011, p. 10), no início da segunda metade do séc. XX, rompendo com a concepção estática do clima, Sorre (1951) foi o responsável pela introdução de uma definição do clima como a “síntese do tempo” ou “ambiente atmosférico constituído pela síntese de estados da atmosfera acima de um determinado local, em sua sucessão habitual”.

Na mesma linha, explicando o abandono da abordagem clássica e a adoção da abordagem dinâmica, Ayoade (1996, p. 7) coloca que a climatologia moderna procura eliminar as deficiências descritas para a climatologia tradicional. A ênfase atualmente incide na explicação dos fenômenos atmosféricos, para além de descrevê-los. A atmosfera é dinâmica, não estática, e fazem-se esforços para compreender os processos e interações que ocorrem na atmosfera e na interface atmosfera – superfície da Terra.

A análise dinâmica do clima tem como foco o estudo do ritmo climático de uma determinada área. Para Monteiro (1971, *apud* OLIVEIRA, p 11), o ritmo é a essência da análise dinâmica, sendo que a sequência, a sucessão de tipos de tempo, ou seja, o encadeamento dos estados atmosféricos sobre determinado local, é que conduz ao ritmo. Desta forma, a análise dinâmica reveste-se de um estudo dos tipos de tempo, sobre um determinado lugar, considerando os valores reais registrados e usando a análise do ritmo climático para interpretar o fenômeno atmosférico. Nimer (1979, *apud* SPECIAN, 2003) destaca a importância dos estudos de massas de ar como fundamento da climatologia moderna. O estudo do deslocamento, frequência e intensidade das massas de ar, constituem a base da climatologia moderna (OLIVEIRA, 2010, p. 11).

## 2.2 Sobre Mudanças Climáticas

O entendimento do clima terrestre pelo viés sistêmico, como o complexo produto da atuação e interação de fatores diversos, não condiz com uma visão de sistema permanente, rígido, inflexível, imutável, acabado. Na verdade, o sistema climático não só está sujeito a variações, como se constitui por elas. A questão é, quando da observação e análise dessas variações, percebê-las dentro de uma determinada escala, empregando uma terminologia adequada para referenciá-las. Assim, as mudanças em questão devem ser referenciadas espacialmente e temporalmente. Como ressalta Jesus (2008, p. 172), “os estudos dos fenômenos relacionados com o comportamento da atmosfera são orientados no sentido da compreensão de sua extensão (espaço) e de sua duração (tempo)”.

Uma das maiores dificuldades nas análises climatológicas é situar, concretamente, a realidade em estudo, com relação aos tipos de dados e fontes necessárias, em função dos resultados que se pretende alcançar. Na realidade, definidos os objetivos ou propósitos gerais de um determinado estudo, colocam-se os seguintes problemas: Qual a fonte a levantar? Por onde começar? Em que escala espacial trabalhar? Qual a série temporal a ser utilizada? Essas indagações estão intimamente relacionadas à questão escalar em que se esteja trabalhando, para que haja uma sintonia com os métodos a serem utilizados (JESUS, 2008, p. 172).

A seguir, na Figura 1 é exibida uma nomenclatura para a mudança climática em várias escalas de tempo. No que se refere às escalas espaciais, escalas dos sistemas de circulação meteorológica são apresentadas na Tabela 1. Ayoade (1996, p. 4) ressalta, “todavia, que os vários fenômenos atmosféricos, que vão desde as zonas planetárias até os sistemas de ventos locais, constituem um único espectro contínuo dos sistemas climáticos”. Ele descreve três subdivisões da climatologia reconhecidas:

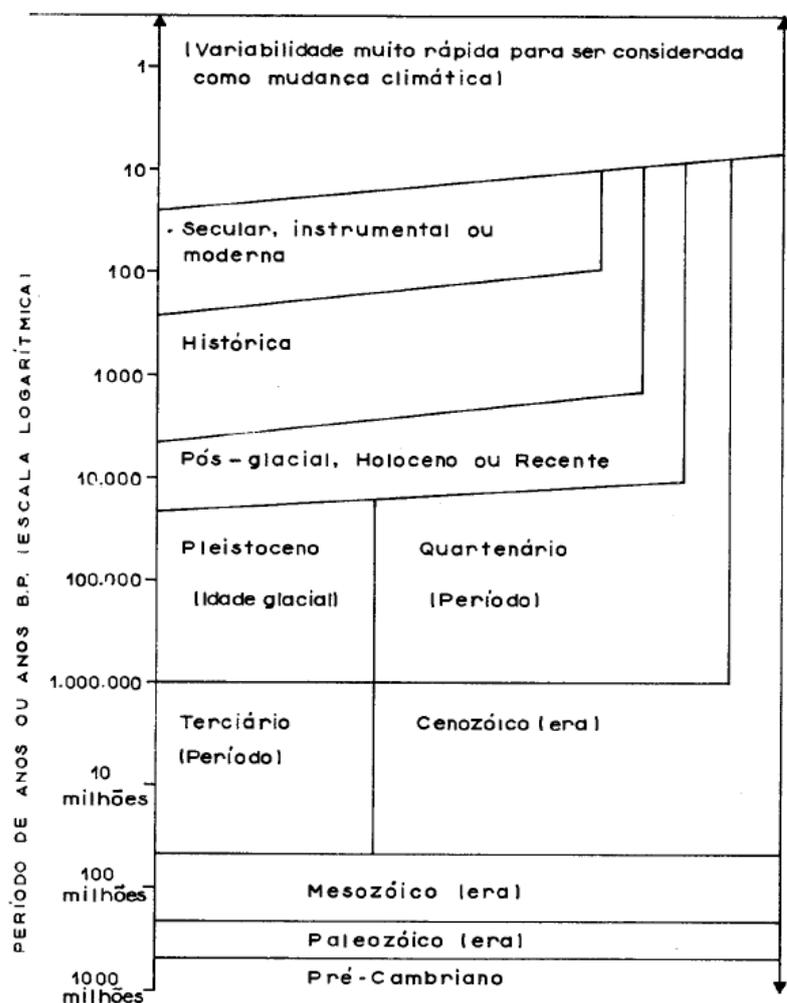
- macroclimatologia, como sendo aquela relacionada com os aspectos do clima de amplas áreas da Terra e com os movimentos atmosféricos em larga escala que afetam o clima;
- mesoclimatologia, que se preocupa com o estudo do clima em áreas relativamente pequenas, entre 10 e 100 Km de largura (por exemplo, o estudo do clima urbano e dos sistemas climáticos locais severos tais como os tornados e os temporais);
- microclimatologia, preocupada com o estudo do clima próximo da superfície ou de áreas muito pequenas, com menos de 100 metros de extensão.

Tabela 1 - Escalas dos sistemas de circulação meteorológica

Sistema de circulação	Escala horizontal (km)	Escala vertical (km)	Escala de tempo (horas)
<b>Macroescala</b>			
1. Ondulações planetárias	$5 \times 10^3$	10	$2 \times 10^2$ a $4 \times 10^2$
2. Perturbações sinóticas	$5 \times 10^2$ a $2 \times 10^3$	10	$10^{-2}$
Fenômenos em mesoescala	$1 - 10^2$	$1 - 10$	$1 - 10$
Fenômenos em microescala	menor que $10^{-1}$	menor que $10^{-2}$	$10^{-2} - 10^{-1}$

Fonte: BARRET (1974 apud AYOADE, 1996, p. 4)

Figura 1 - Nomenclatura das mudanças climáticas



Fonte: AYOADE (1996, p. 207)

É importante fazer uma distinção entre variações do tempo atmosférico e variações climáticas. O tempo atmosférico é extremamente variável, particularmente na região temperada. Porém, quer nos trópicos ou na região temperada, a existência de mudanças diurnas e sazonais no tempo atmosférico não pode ser negada. As

mudanças climáticas agregadas formam o clima. Existem evidências de flutuações ou variações no próprio clima. Quando essas flutuações seguem uma tendência, falamos de tendências climáticas. As flutuações também podem ser de natureza cíclica e fornecem o que se denomina ciclos climáticos. Por um longo período de tempo, as flutuações climáticas podem ocorrer de tal forma que passam a provocar uma mudança no tipo de clima predominante sobre uma determinada área. Neste caso falamos de mudança no clima ou mudança climática. Os vários termos usados para descrever as variações no clima, a saber, a variabilidade climática, flutuações climáticas, tendências climáticas, ciclos climáticos e mudança climática, referem-se a algumas escalas apropriadas de tempo e somente podem ser válidos quando usados dentro de tais escalas temporais (AYOADE, 1996, p. 205-206).

A nomenclatura sugerida é devidamente explicada por Ayoade (1996, p. 206). Primeiramente, o termo variabilidade denota uma alteração muito rápida para ser compreendida como mudança climática, incluindo flutuações no clima dentro de um período menor do que 30 - 35 anos, que é o período usualmente aplicado para cálculo das normais climatológicas. Em segundo lugar, existem mudanças seculares ou instrumentais no clima que ocorrem durante um período de 100 - 150 anos. Em terceiro, existem variações no clima durante um período histórico remontando a alguns milhares de anos. E por último, ocorrem variações no clima nas escalas do tempo geológico, abrangendo durações em milhões de anos. Mas o termo mudanças climáticas pode ser compreendido de formas diferentes.

Mudanças climáticas no uso do IPCC referem-se à mudança no estado do clima que pode ser identificada (por exemplo, utilizando testes estatísticos) por mudanças na média e/ou na variabilidade de suas propriedades, e que persistem por um período prolongado, tipicamente por décadas ou mais tempo. Refere-se a qualquer mudança no clima ao longo do tempo, seja devido à variabilidade natural ou como resultado da atividade humana (IPCC, 2007a apud OLIVEIRA, 2010, p. 42).

No que se refere às flutuações ou mudanças no clima, as evidências fornecidas pela ciência são diversas, e apontam para a existência de distintas configurações climáticas na Terra ao longo de sua história. Isso quer dizer que a Terra provavelmente já apresentou temperaturas médias maiores do que apresenta hoje, bem como menores também; que as concentrações de gases componentes da atmosfera, incluindo os chamados gases de efeito estufa, já foram totalmente discrepantes em relação às concentrações atuais; que os padrões gerais de circulação atmosférica já foram outros por sobre os mesmos recortes da superfície

terrestre; que locais que outrora apresentaram grande exuberância vegetal, abundância de vida e oferta de alimentos, também já exibiram escassez; enfim, que oscilações e extremos compõe a história do clima do planeta.

As mudanças climáticas diversas já experimentadas pela Terra, faz-se necessário destacar, ocorreram tanto na ausência da espécie humana sobre a superfície terrestre quanto na sua presença, que é relativamente recente em escala geológica de tempo. E mudanças no sistema climático, é forçoso afirmar, continuam a ocorrer. Como que relatam Teodoro & Amorim (2008, p. 33), atualmente o planeta encontrar-se-ia no final de um período interglacial (mais quente), que começou há aproximadamente 15 mil anos. A história climática do planeta Terra é caracterizada especialmente por períodos frios (glaciais), já que os períodos quentes (interglaciais) são curtos e esparsos. Geralmente, considerando-se um período de 100 mil anos, em 80% dele prevalecem temperaturas mais baixas, enquanto no restante prevalecem temperaturas mais altas.

Há evidências, conforme expõe Molion (2008, p. 8), de que a Terra experimentou um período mais quente entre cerca de 800 a 1200 d.C. Esse período é denominado na literatura como Optimum Climático Medieval<sup>2</sup>. Nessa época, para se ter uma noção, os Nórdicos (Vikings) colonizaram as regiões do Norte do Canadá e uma ilha foi chamada de Groelândia (que significa Terra Verde). Hoje ela é coberta de gelo. Entre 1350 e 1850, o clima se resfriou, chegando a temperaturas de até cerca de 2°C inferiores às de hoje, particularmente na Europa Ocidental. Esse período é descrito na Literatura como “Pequena Era Glacial” (os dois períodos referidos são ilustrados no Gráfico 1 a seguir). Após 1850, o clima começou a se aquecer lentamente e as temperaturas se elevaram. Portanto, segundo o autor, não há dúvidas de que ocorreu um aquecimento global nos últimos 150 anos. A questão que se coloca é se esse o aquecimento observado é natural ou antropogênico.

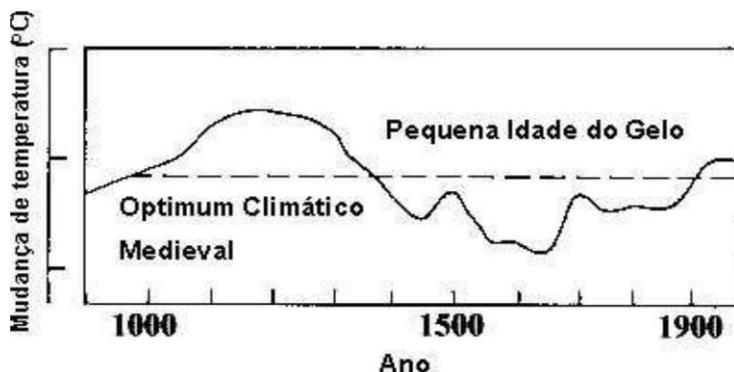
Esse aquecimento recente assinalado por Molion tem sido alvo constante da atenção mundial nas últimas décadas, sendo percebida como extremamente relevante, como crucial para a humanidade. Um aquecimento do planeta traria implicações diversas sobre o modo de vida humano. Se a temperatura média global está aumentando devido à variação natural do clima, a princípio, não haveria o que fazer para interferir nisso, restando ao homem aceitar e lidar com as possíveis consequências, adaptando-se da melhor forma possível. Por outro lado,

---

<sup>2</sup> Segundo Molion, no Optimum Climático Medieval, o planeta teria apresentado temperaturas mais elevadas que as de hoje. Esse era o entendimento comum da comunidade científica, conforme expõe Onça (2011, p. 294), até 1998. Neste ano, Mann et al procurou desfazer essa noção, defendendo que o século XX teria tido anos mais quentes que nesse período. Esse entendimento foi ratificado na publicação do terceiro relatório do IPCC, originando a controvérsia do taco de hóquei.

se o aquecimento é gerado pelas atividades antrópicas, ou ao menos, se o homem é responsável por contribuir com significativa parcela nesse processo, então ele deveria agir, minimizando suas ações compreendidas como provocadoras de desequilíbrio.

Gráfico 1 – Estimativas de evolução da temperatura média global ao longo do último milênio



Fonte: IPCC (1990, p. 202 *apud* ONÇA, 2011, p. 292)

Ocorre que, se por um lado tem-se detectado uma tendência de aquecimento global pelos registros de temperatura nos últimos 150 anos, por outro, citam Teodoro & Amorim (2008, p. 33), as indicações da paleoclimatologia, remontando a climas passados há um tempo histórico maior, apontam para o encaminhamento de um processo de resfriamento do globo terrestre, para a chegada de uma nova era glacial, que seria cíclica.

Para a melhor compreensão das mudanças climáticas por que passou e por que pode estar passando o planeta, é imprescindível o conhecimento dos indicadores de climas passados, dos fatores de regulação do clima, considerando suas inter-relações, e dos parâmetros e observações meteorológicas que subsidiam a produção científica climatológica.

## 2.3 Indicadores de Climas Passados

### 2.3.1 História não Registrada

Como se sabe, qualquer compreensão do clima terrestre pressupõe um referenciamento em escalas temporais e espaciais. Considerando que o ser humano possui um tempo de vida relativamente curto em comparação ao tempo geológico e que as experiências de mudanças climáticas que pode vivenciar são muito limitadas, a busca por um entendimento mais completo do clima do planeta passa pelo acesso a informações de tempos climáticos passados, que podem ser encontradas em diversos tipos de registros. O estudo dos climas passados pode

ser organizado em duas partes, tal como propõe Ayoade (1996, p. 208). A primeira trata dos climas passados durante um período geológico anterior à história registrada. A segunda trata dos climas durante a história registrada. O conhecimento do clima na fase anterior à história registrada vem de fontes indiretas de evidência na crosta terrestre. Essas evidências são muitas e variadas, contudo podem ser agrupadas em três categorias amplas, a saber, biológicas, litogenéticas e morfológicas.

#### Indicadores biológicos

Os principais são os fósseis, os pólenes e os anéis de árvores. Os fósseis encontrados em depósitos sedimentares podem ser datados usando-se técnicas paleontológicas padrões, como a datação do carbono 14 ( $^{14}\text{C}$ ). Os fósseis e os depósitos sedimentares nos quais são encontrados são estudados para a determinação da duração e da extensão espacial das condições de temperatura e umidade que favorecem a existência de tais organismos (plantas e animais), onde eles se fossilizaram. Uma questão importante é que a fossilização é seletiva, de maneira que os fósseis encontrados podem não ser muito representativos do agrupamento floral e faunístico que existia no passado num determinado local. Além disso, as exigências climáticas de um vegetal ou animal podem mudar ou variar no transcurso do tempo. É bastante possível que as espécies extintas de plantas animais fossem adaptadas a um clima diferente daquele no qual suas modernas contrapartidas são encontradas. Há também a possibilidade de que os fósseis sofram derivação de maneira que indiquem condições climáticas que pertençam a um período anterior. (SCWHARZBACH, 1963 *apud* AYOADE, 1996, p. 208)

Os pólenes, uma vez carregados pelo vento, podem depositar-se sobre superfícies terrestres ou aquáticas. Quando comparados os pólenes encontrados em rochas sedimentares com os pólenes da vegetação moderna é possível inferir os climas das épocas em que foram preservados. As mudanças climáticas são refletidas nos espectros das camadas sedimentares sucessivas. Suas duas maiores limitações como indicadores de climas passados são sua preservação seletiva e a derivação que sofrem de maneira que indiquem condições climáticas de períodos anteriores. A técnica da análise do pólen é conhecida como palinologia (AYOADE, 1996, p. 208, 209).

Já os estudos de anéis de árvores para inferência climática dizem respeito à dendroclimatologia. Está assentada no fato de que muitas espécies arbóreas crescem

refletindo as sazonalidades na formação dos anéis. Em áreas com mudanças sazonais regulares do tempo atmosférico, geralmente as árvores sazonais produzem um anel de crescimento por ano. O anel de crescimento é bastante espesso quando as condições de clima são ótimas para o crescimento das árvores, ao passo que é estreito se as condições não são favoráveis. Um de seus inconvenientes é que sua utilidade é maior para a detecção de mudanças climáticas ocorridas num passado recente, porque a maioria das árvores atinge a velhice dentro de um período relativamente curto de algumas centenas de anos. Além disso, a espessura dos anéis de crescimento é influenciada não só pelas condições climáticas, mas também pela idade da árvore, que nada tem a ver com o clima. Como fonte complementar de informações, podem ser usados os corais pelo estudo da característica geoquímica de seus geoesqueletos (AYOADE, 1996, p. 209; ONÇA, 2011, p. 116).

#### Indicadores Litogenéticos

Os indicadores litogenéticos de climas passados incluem as camadas anuais de aluviões lacustre (varvitos), os evaporitos, os processos de intemperismo, particularmente a laterização, e seus produtos. Os varvitos são camadas distintas de silte e areia depositadas anualmente e lagos situados nas proximidades das geleiras continentais. O material mais grosseiro, que é também mais claro quanto à cor, deposita-se primeiro durante o derretimento de verão, enquanto o material mais fino e mais escuro é depositado no inverno. Cada faixa de material claro e escuro representa uma varva (camada anual de aluviões lacustre). Através da contagem do número de camadas anuais de aluviões lacustres pode ser estimado o número de anos envolvidos na formação de um depósito varvítico (AYOADE, 1996, p. 209).

#### Indicadores Morfológicos

Incluem, segundo Ayoade (1996, p. 210) formas residuais de relevo (como, por exemplo, antigas praias, dunas e relevos glaciais como as morenas e eskers) e terraços fluviais. As formas residuais de relevo geralmente não apresentam problemas de interpretação, desde que sejam reconhecidas.

As evidências de mudanças climáticas devem ser cuidadosamente estudadas antes que sejam aceitas como tais. Além disso, várias evidências que se corroboram mutuamente deveriam ser normalmente usadas na determinação do padrão de mudanças climáticas no passado. Frequentemente torna-se errôneo confiar em apenas uma evidência na determinação do clima no passado. Em grande parte, o

estudo do clima no passado assemelha-se à solução de um quebra-cabeças. Exige paciência. Todas as evidências disponíveis devem ser consideradas em conjunto para que se chegue a decisões razoáveis concernentes com o clima no passado. As várias evidências de mudanças climáticas resultam dos efeitos do clima sobre os animais, vegetação e relevo, entre outros (Ayoade, p. 210).

### 2.3.2. História Registrada

#### Registros históricos

Os registros históricos relatam o congelamento de corpos d'água, nevascas, secas, fome, florescimento das plantas, entre outros, que nos dão uma ideia geral das condições climáticas passadas. Contudo, esses registros são restritos a localidades com longas tradições escritas, como a Europa, o Extremo Oriente e mesmo a América do Norte. Apesar da riqueza de alguns dados em determinadas regiões, deve-se ter em mente que esses registros, sozinhos, não podem representar mudanças globais e devem ser interpretados com cuidado. (WHYTE, 1995, p. 13-16; JONES; MANN, 2004, p. 6; LAMB, 1995, p. 81-83 *apud* ONÇA, 2010, p. 115).

#### Registros instrumentais

Os elementos do tempo atmosférico, em sua maioria, são instrumentalmente observados, coloca Ayoade (1996, p. 183). No geral, os instrumentos são de dois tipos: os não registradores e os registradores. Os instrumentos não registradores tem que ser lidos em momentos predeterminados por um técnico ou pessoa habilitada, que posteriormente comunica os dados obtidos, enquanto os registradores tem dispositivos autoregistradores que fornecem valores contínuos dos elementos meteorológicos. Como observa Onça (2010, p. 113, 114), os registros instrumentais são a maneira mais confiável de se conhecer os climas passados, pois na maior parte das vezes são datados precisamente e não requerem alguma calibração explícita. Eles incluem dados de temperatura, precipitação e pressão das regiões continentais e oceânicas, além da extensão do gelo e estimativas dos ventos. Como ponto negativo, tem-se que esses registros não permitem o recuo no tempo e conhecimento do clima em épocas mais antigas. O termômetro, o pluviômetro e o barômetro foram inventados no século XVII, mas são pouquíssimas as localidades que possuem séries de dados meteorológicos de 200 anos ou mais.

A mais longa série de temperaturas conhecida tem início em 1659, compilada por Gordon Manley a partir de diversas séries de dados da Inglaterra central. A partir do início do século XVIII, as estações foram se difundindo pela Europa, mas em diversas áreas do globo demoraram ainda algum tempo para ser iniciadas; para se ter uma ideia, a primeira série de dados do hemisfério sul começa em 1832, na cidade do Rio de Janeiro. Já as regiões polares só iniciaram seus registros na década de 1940 (para o Ártico) e 1950 (para a Antártida) (ONÇA, 2010, p. 114).

O desenvolvimento das observações meteorológicas percorreu um longo caminho, relata Ayoade (1996, p. 7, 184), desde os primitivos cataventos e medidas de chuva, no quinto século antes de Cristo. Tais observações são coletadas atualmente por estações (ou postos) meteorológicas de várias ordens na superfície terrestre. As observações meteorológicas de superfície, em grande parte, ocorrem em postos meteorológicos convencionais baseados nos continentes e em alguns navios meteorológicos localizados nos oceanos. Navios comerciais também fazem observações e transmitem-nas por rádio para os postos meteorológicos centrais próximos e situados no continente. A rede de postos meteorológicos é extremamente irregular quanto à cobertura. Os países em desenvolvimento nas baixas latitudes e as áreas polares são precariamente servidos por estações meteorológicas. As áreas oceânicas também não têm postos em número suficiente, haja vista sua imensidão territorial. Para obtenção de dados da superfície oceânica vem sendo empregadas cada vez mais boias meteo-oceanográficas, que abrigam, conforme explica o INPE (2017), vários sensores oceanográficos e meteorológicos, bem como uma plataforma que permite o recebimento dos dados em tempo quase real, sendo feito o envio via rádio ou satélite.

Além dos postos ou estações meteorológicas convencionais (que possuem instrumentos não registradores), existem as estações automáticas (que possuem instrumentos registradores), equipadas com instrumentos meteorológicos totalmente automáticos. Ela é composta, conforme explica o INMET (2017), de uma unidade de memória central, ligada a vários sensores dos parâmetros meteorológicos (pressão atmosférica, temperatura, umidade relativa do ar, precipitação, radiação solar, direção e velocidade do vento), que integra os valores observados minuto a minuto e os disponibiliza automaticamente a cada hora, sendo transmitidos via satélite ou telefonia celular. As estações meteorológicas automáticas são muito úteis em ambientes de difícil acesso, áreas remotas ou escassamente povoadas, já que prescindem de intermediários para o envio das informações. Alguns de seus problemas é que estas estações são mais dispendiosas, exigem eletricidade para seu funcionamento e exigem também uma manutenção especializada adequada, pois os aparelhos correm o risco de

estragar ou ficar desregulados, perdendo a calibração, com comprometimento da qualidade dos dados enviados. Da mesma forma que para as estações convencionais, não há um número satisfatório de estações automáticas. Em verdade, independentemente do tipo de estação, suas quantidades são insuficientes para prover o monitoramento satisfatório da superfície terrestre.

Além das observações meteorológicas de superfície, coloca Ayoade (1996, p. 184), também são feitas observações das camadas superiores da atmosfera em muitos postos continentais e em alguns navios, particularmente em navios meteorológicos. Essas observações são feitas com utilização de radiossonda, de radar, de equipamento eletrônico (esférico) detector de tempestades. Além disso, são geradas informações sobre as camadas superiores da atmosfera por meio de helicópteros, aeronaves, bem como foguetes e satélites.

A observação dos fenômenos meteorológicos passou por grande ampliação, sem dúvida, conforme sublinha Ayoade (1996, p. 185), a partir do lançamento do primeiro satélite meteorológico, em 1960. Esses satélites proporcionam dois tipos principais de informações meteorológicas vitais. Primeiramente fornecem fotografias dos sistemas meteorológicos formados de vários tipos de nuvens em uma base regular e contínua, permitindo conhecer a direção e a velocidade de deslocamento desses sistemas do tempo atmosférico. Em segundo lugar, medem a radiação no topo da atmosfera, sendo que antes só era possível medir a radiação na superfície terrestre, depois que esta já tivesse interagido com a atmosfera.

Os satélites meteorológicos aperfeiçoam grandemente a cobertura de dados da Terra, oferecendo informações sobre o tempo em áreas remotas, inóspitas ou desabitadas do mundo, particularmente dos oceanos e dos desertos, assim como dos trópicos e das áreas polares, que não são bem servidas por estações meteorológicas convencionais. Os satélites meteorológicos apresentam outras vantagens. Os dados derivados são mais homogêneos que os obtidos pelas estações meteorológicas convencionais e são também espacialmente contínuos sobre a superfície da Terra, fato que os tornam muito diferentes dos dados de estações meteorológicas convencionais, que são medidas locais da atmosfera. Além disso, os satélites podem fornecer frequência maior de informações sobre a cobertura, pois usualmente as estações convencionais informam às 6, 12 ou às 24 horas. Os dados derivados do satélite também são utilizados de imediato nos processamentos de computador (Ayoade, 1996, p. 8).

Mesmo com os avanços e riqueza de informações advindas do emprego de satélites meteorológicos, segundo ressalta Ayoade (1996, p. 8) deve haver um entendimento de que as observações de satélite são de natureza complementar às estações meteorológicas

(convencionais ou automáticas) e não podem substituí-las. Isso porque os satélites são plataformas de sensoriamento remoto, obtendo informações da atmosfera a distância, sem contato direto com ela, sem imersão propriamente no fluido atmosférico. Isso confere às observações derivadas de satélites uma natureza diferente daquelas obtidas dentro do próprio sistema físico. É preciso lembrar ainda que existem problemas associados com a operação dos satélites e no processamento, análise, interpretação e uso dos dados por eles obtidos. A qualidade dos dados provenientes dos satélites tende a se deteriorar com o passar do tempo, por causa da degradação dos seus sistemas sensores, por exemplo. Mas é preciso enfatizar que os avanços tecnológicos têm minorado cada vez mais esses problemas.

### 3. OS FATORES DE REGULAÇÃO DO CLIMA

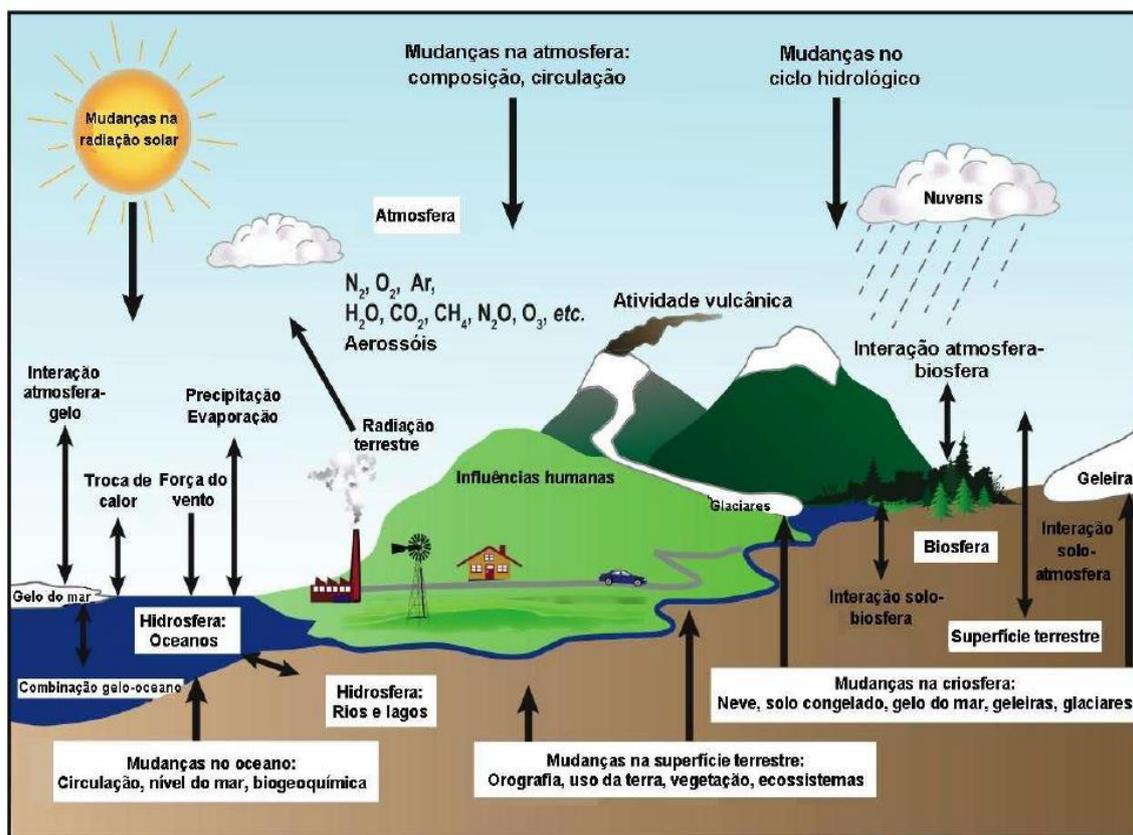
Diversos são os fatores intervenientes no clima do planeta. E uma mudança no clima, explicita Ayode (p. 211, 1996), implica uma mudança na circulação geral da atmosfera, da qual o clima depende em última análise, mas não somente. Como esclarece Onça (2011, p. 71), o sistema climático, ilustrado na Figura 2, pode ser definido “como um sistema complexo e interativo, onde interagem cinco grandes componentes: a atmosfera, a superfície terrestre, a criosfera, a hidrosfera e a biosfera”.

- A atmosfera, explica Ayoade (1996, p. 17), pode ser descrita como uma camada fina de gases, presa à Terra pela força da gravidade. Compreende uma mistura mecânica estável de gases, sendo que os mais representativos são o nitrogênio, oxigênio, argônio, dióxido de carbono, ozônio e o vapor d’água, como pode ser visto na Tabela 2. Outros gases ocorrem em proporções muito pequenas e incluem neônio, criptônio, metano, hélio e hidrogênio. Além desses gases, a atmosfera contém quantidades variáveis, porém significativas, de aerossóis. São partículas de poeira em suspensão, fumaça, matéria orgânica, sal marinho, etc., que se originam tanto de fontes naturais como de antropogênicas. As partículas sólidas em suspensão no ar, ressalta Braga et al. (2005, p. 168), são de fundamental importância para o ciclo hidrológico, uma vez que produzem núcleos de condensação, acelerando o processo de formação de nuvens e, conseqüentemente, a ocorrência de precipitação. Esse fenômeno é chamado de coalescência.

Conforme sublinha Ayoade (1996, p. 17), o vapor d’água, o ozônio e o dióxido de carbono desempenham papéis importantes na distribuição e nas trocas de energia dentro da atmosfera e entre a superfície da Terra e a atmosfera, pois absorvem, refletem e difundem tanto a radiação solar como a terrestre, em diferentes faixas do espectro eletromagnético. Nesse sentido, suas quantidades e padrões de distribuição na atmosfera devem ser cuidadosamente estudados.

A atmosfera, porém, prossegue o autor, sendo uma mistura mecânica de gases, exibe as características principais de todos os gases. Ela é extremamente volátil compressível e tem a capacidade de expansão. Aspectos do tempo e do clima são explicados por essas características, bem como aspectos fundamentais da própria estrutura atmosférica. Pelo fato de a atmosfera ser altamente compressível, suas camadas inferiores são muito mais densas do que as superiores, isto é, o ar se torna rarefeito na medida em que a distância em relação à superfície vai aumentando, como pode ser observado no Gráfico 2 a seguir.

Figura 2 - Esquema dos componentes do sistema climático global



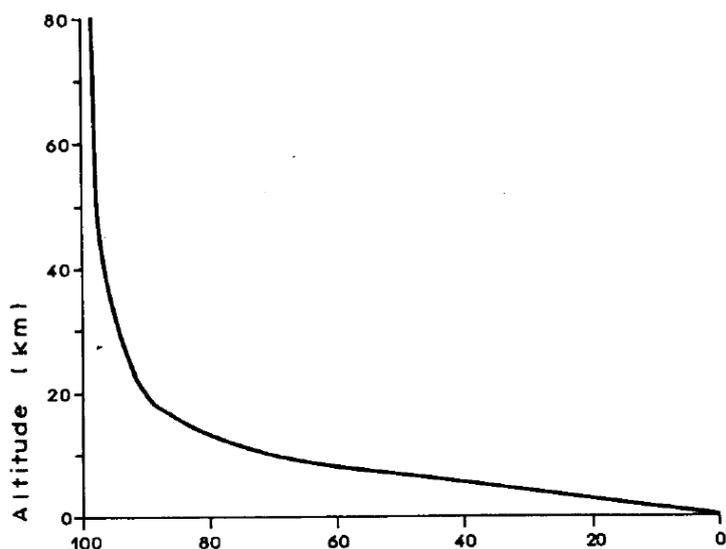
Fonte: IPCC (2007, p. 104 *apud* ONÇA, p. 71)

Tabela 2 - Composição média da atmosfera seca abaixo de 25 quilômetros

Gás	Volume % (ar seco)
Nitrogênio (N <sub>2</sub> )	78,08
Oxigênio (O <sub>2</sub> )	20,94
Argônio (Ar)	0,93
Bióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	0,03 (variável)
Neônio (Ne)	0,0018
Hélio (He)	0,0005
Ozônio (O <sub>3</sub> )	0,00006
Hidrogênio (H)	0,00005
Criptônio (Kr)	Indícios
Xenônio (Xe)	Indícios
Metano (Me)	Indícios

Fonte: Barry e Chorley (1976, *apud* AYOADE, 1996, p. 16)

Gráfico 2 - Distribuição vertical da massa da atmosfera

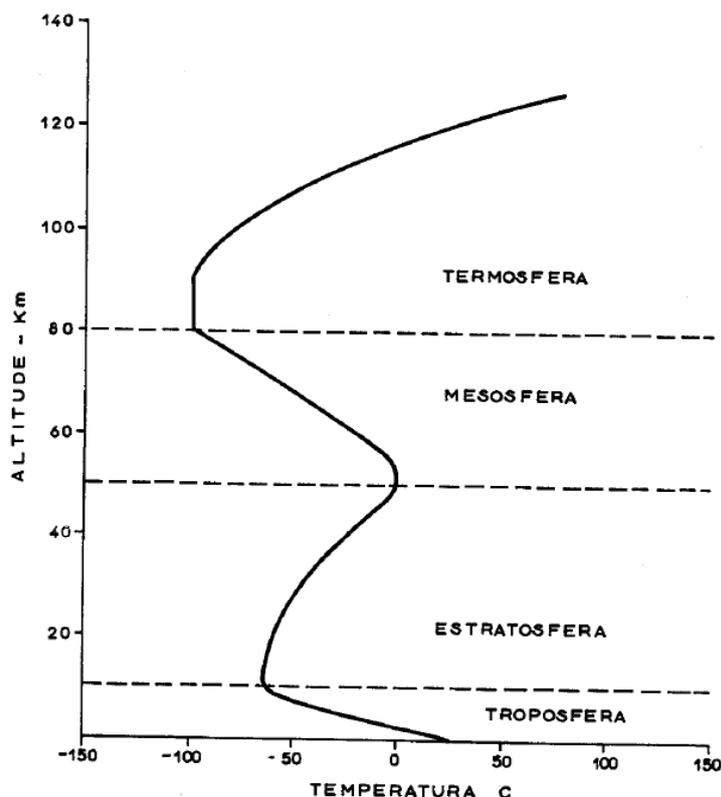


Fonte: Barry e Chorley (1976 *apud* AYOADE, 1996, p. 19)

Porcentual da massa total da atmosfera que se situa abaixo da altitude de 80 Km, mostrando a característica de manto superficial da atmosfera terrestre.

A camada de altitude mais baixa, estabelecida próximo à superfície é a troposfera, como se vê no Gráfico 3. Ela concentra, segundo Ayoade (1996, p. 20), cerca de 75 % da massa gasosa total da atmosfera e virtualmente a totalidade do vapor d'água e dos aerossóis. Dessa forma, é na troposfera que os fenômenos do tempo atmosférico e a turbulência se processam de forma mais marcante, sendo ela a camada mais importante na determinação do clima. Já a estratosfera, segunda principal camada, é importante por conter a maior parte do ozônio atmosférico, contendo pouco ou nenhum vapor d'água. Acredita-se que os eventos na estratosfera estejam provavelmente ligados às mudanças de temperatura e de circulação na troposfera. Essas duas camadas constituem a atmosfera inferior e são alvo de interesse nesse trabalho. A atmosfera superior não é abordada nesse trabalho, já que não apresenta maior relevância para a dinâmica do clima na Terra.

Gráfico 3 - A estrutura da atmosfera, de acordo com as mudanças de temperatura.



Fonte: Barry e Chorley (1976 apud Ayoade, 1996, p. 20)

- **A hidrosfera**, como relata Onça (2011, p.72), compreende todas as porções de água líquida do planeta: oceano, rios, lagos e aquíferos. Os oceanos, que cobrem 70% da superfície do planeta, possuem papel fundamental na dinâmica do clima global. Eles guardam e transportam grandes quantidades de energia, além de estocar grandes quantidades de dióxido de carbono dissolvido. Sua lenta circulação e sua grande inércia térmica pode fazer com que amortecem mudanças bruscas de temperatura e atuem como reguladores do clima e como fonte de variabilidades climáticas naturais, principalmente considerando escalas temporais mais longas. De acordo com Schmitt (2008 *apud* IPCC 2013, p. 260, tradução nossa) mais de três quartos da troca total de água entre a atmosfera e a superfície da Terra por meio da evaporação e precipitação ocorre sobre os oceanos.

- **A criosfera**, como coloca o IPCC (2013, p. 321, tradução nossa), designa o conjunto de componentes do sistema terrestre que contém uma fração substancial de água no estado congelado. Compreende a massa de gelo de neve, rios e lagos, gelo marinho, lençóis de gelo, prateleiras de gelo, geleiras e calotas de gelo, e solos congelados. Onça (2011, p.72) resume a criosfera como a massa de gelo sobre os continentes e oceanos. Sua importância para o

sistema climático reside no seu albedo elevado, sua baixa condutividade térmica, sua grande inércia térmica e seu papel na formação de águas profundas oceânicas.

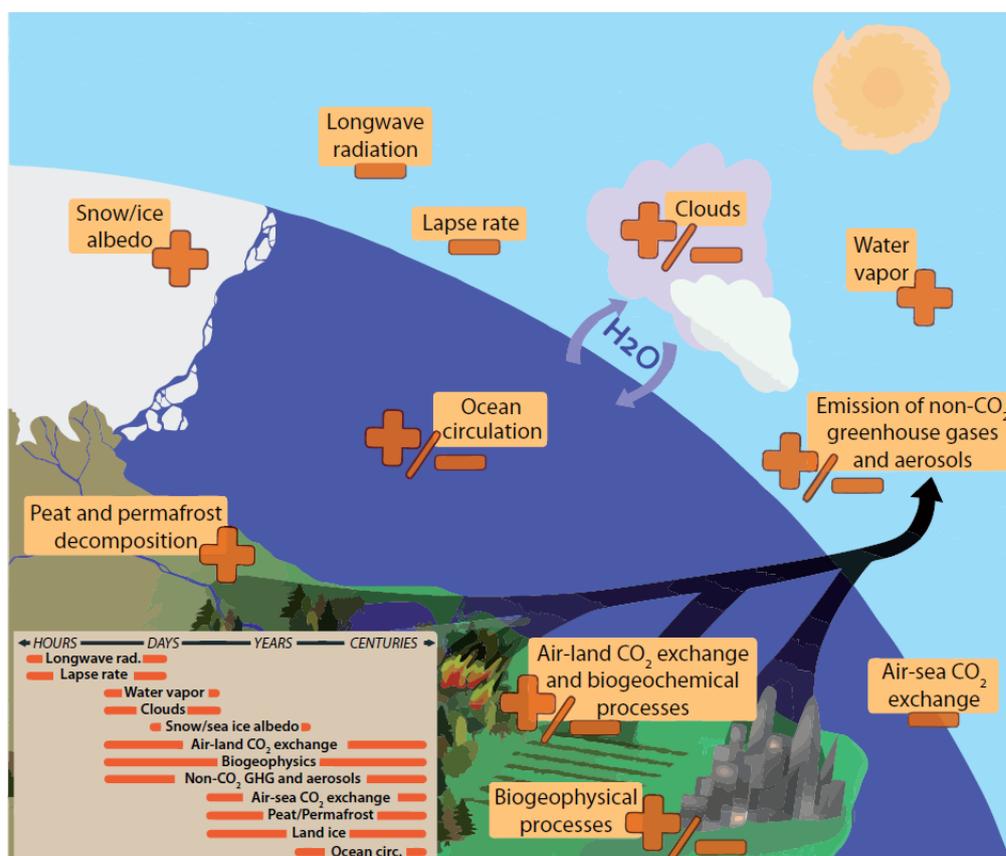
- **A superfície terrestre**, de acordo com Onça (2011, p.72), controla a maneira como a radiação solar incidente retorna para a atmosfera por conta de sua rugosidade – que influencia a direção dos ventos e tipo de cobertura, cada uma com seu albedo característico.

- **A biosfera**, tanto terrestre quanto marinha, tem uma importante influência sobre o ciclo do carbono, envolvendo a fotossíntese e a respiração, além de estar envolvida no ciclo de outros gases, como o metano e o óxido nitroso, e na produção de certos aerossóis (ONÇA, 2011, p. 72).

Todos esses componentes do sistema trocam energia e matéria a todo tempo, de forma extremamente dinâmica e complexa. Isso quer dizer que o estabelecimento de relações causa e efeito nem sempre é fácil. Um determinado efeito observado pode não ser provocado necessariamente por apenas uma causa, mas sim por causas diversas, que muitas vezes não podem ser discretizadas e nem precisamente hierarquizadas quanto à magnitude, isto é, pode ser difícil mensurar o quanto cada causa contribui para o efeito observado; o que é identificado como causa de um efeito pode ser consequência de causas outras, anteriores, e essas, da mesma forma, podem ser o resultado de eventos prévios, o que pode oferecer empecilhos à determinação da causa primeira. Na verdade, o efeito pode ser causa para outros efeitos da mesma forma que pode retornar para alterar a própria causa que lhe deu origem, o que é chamado de mecanismo de realimentação.

Sobre os mecanismos de realimentação, Onça (2011, p. 99, 100) explica que, estando todos os elementos do sistema climático interligados, mudanças em alguns deles podem produzir repercussões em partes ou na totalidade do sistema. Tais impulsos podem amplificar ou reduzir a tendência de mudança original. Por amplificação, entende-se aquecimento produzindo mais aquecimento ou resfriamento produzindo mais resfriamento, o que é chamado de realimentação positiva. Já no caso de atuação dos impulsos para redução da tendência de mudança original, quer dizer, aquecimento levando a resfriamento ou resfriamento levando a aquecimento, dá-se a realimentação negativa. As realimentações positivas são motivo de preocupação especial devido à possível reação em cadeia que podem causar. A seguir, na Figura 3, são mostrados exemplos de mecanismos de realimentação.

Figura 3 - Mecanismos de realimentação climática e suas escalas de tempo.



Fonte: IPCC (2013, p. 128)

Os mecanismos climáticos da Figura 3, relacionados ao aumento da concentração de CO<sub>2</sub> e ao aumento da temperatura, incluem mecanismos de realimentação negativa (-), como radiações de ondas longas (longwave radiation), taxa de variação (lapse rate - de uma variável atmosférica, geralmente temperatura ao longo da altitude), e troca de gás carbônico entre atmosfera e oceano (air-sea CO<sub>2</sub> exchange). Mecanismos de realimentação positiva (+) são o vapor d'água (water vapour) e o albedo emitido por superfícies cobertas de neve/gelo (snow/ice albedo). Alguns mecanismos podem agir provocando realimentação positiva ou negativa, como as nuvens, alterações da circulação do oceano na troca de CO<sub>2</sub> entre atmosfera e superfície, emissão de gases não considerados de efeito estufa, bem como aerossóis de sistemas naturais. Na caixa menor (em cinza) aponta-se a grande diferença entre as escalas de tempo de processamento dos diferentes mecanismos. Vale a pena chamar atenção também para a variação significativa na escala de tempo que pode envolver cada mecanismo (IPCC, 2013, p. 128, tradução nossa).

Nesse emaranhado de possibilidades, impõe-se a necessidade de elencar as principais influências sobre o sistema climático, que não são apenas internas, isto é, não estão restritas ao próprio planeta. Muito pelo contrário, como explica Ayoade (1996, p. 211), o clima também está sujeito a influências extraterrestres, particularmente as do Sol, fonte responsável pelo fornecimento de praticamente toda a energia que é utilizada para vários fins no sistema Terra-atmosfera. Nesse sentido, o clima depende de/ou é determinado por dois fatores principais:

- a natureza dos componentes que formam o sistema climático e as interações entre os vários componentes.

- a natureza das condições geofísicas exteriores ao sistema climático e as influências que exercem sobre o sistema climático.

Ainda segundo Ayoade (p. 211-212), o estado climático em qualquer período dado depende de três fatores cruciais, quais sejam:

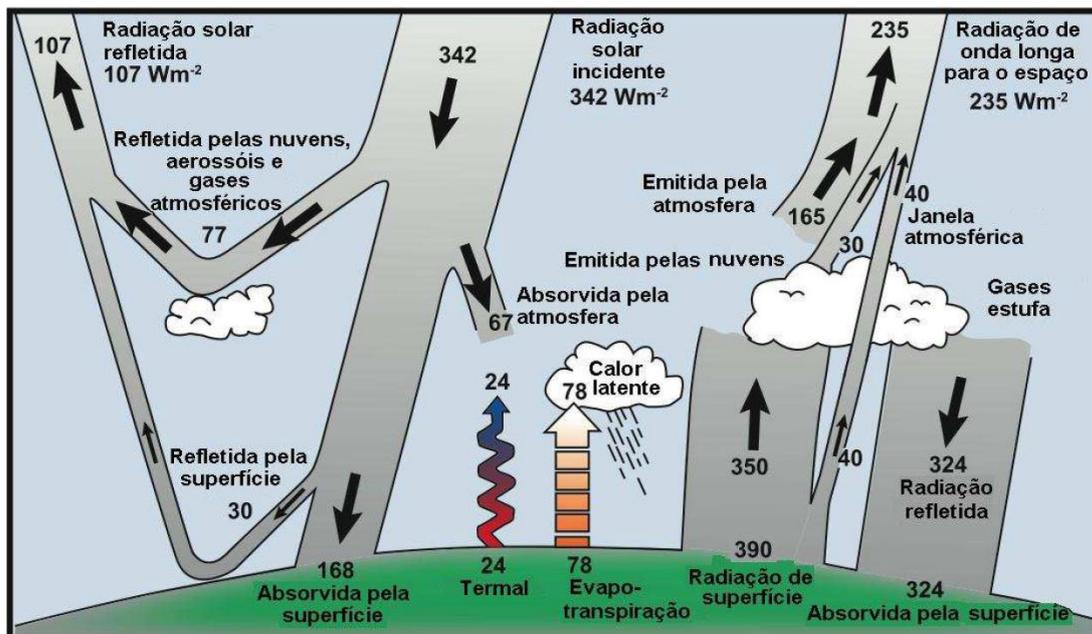
- a quantidade de energia proveniente do Sol recebida pelo sistema climático;
- a maneira pela qual essa energia é distribuída e absorvida pela superfície terrestre;
- a natureza da interação dos processos entre os vários componentes do sistema climático.

No que se refere à quantidade recebida, a fonte primária de energia para o Planeta Terra, esclarece Molion (2008, p. 8), é o Sol. Ele emite radiação eletromagnética (energia) principalmente nos comprimentos de onda entre 0,1 e 4,0  $\mu\text{m}$  (1 micrometro = 1  $\mu\text{m}$  =  $10^{-6}$  metros), o que caracteriza a chamada radiação de ondas curtas (ROC). De acordo com o IPCC (2007, p. 96, 97 *apud* ONÇA, 2011, p. 73), a quantidade média de energia recebida pelo nosso planeta é de cerca de 342  $\text{W}/\text{m}^2$  ao longo de um ano. Cerca de 30% desse total é refletido de volta para o espaço, dos quais dois terços são de responsabilidade das nuvens e aerossóis atmosféricos, e um terço de regiões de albedo elevado, como neve, gelo e desertos. A energia que não é refletida de volta para o espaço, é absorvida pela superfície terrestre e pela atmosfera, numa quantidade de aproximadamente 240  $\text{W}/\text{m}^2$ , como ilustrado na Figura 4. Considerando que a superfície da Terra emite e absorve energia como um corpo negro, para balancear essa energia que é absorvida e distribuída, a Terra deve irradiar, em média, a mesma quantidade de energia (240  $\text{W}/\text{m}^2$ ), o que faz por meio de radiação de onda longa (ROL). Para emitir os 240  $\text{W}/\text{m}^2$ , uma superfície deve ter uma temperatura em torno de  $-19^\circ\text{C}$ , um valor muito abaixo da temperatura estimada da superfície terrestre, de  $14^\circ\text{C}$ . A razão para este incremento de temperatura seria a ocorrência do processo comumente denominado efeito estufa.

Como o solo, a atmosfera absorve e emite energia radiante. Embora a atmosfera seja quase transparente à radiação em ondas curtas, ela apresenta alta capacidade de absorção de radiação infravermelha. Os principais absorventes da radiação infravermelha dentre os constituintes da atmosfera são o vapor d'água (5,3  $\mu\text{m}$  a 7,7  $\mu\text{m}$ , e além de 20  $\mu\text{m}$ ), o ozônio (9,4  $\mu\text{m}$  a 9,8  $\mu\text{m}$ ), o bióxido de carbono (13,1  $\mu\text{m}$  a 16,9  $\mu\text{m}$ ) e as nuvens, que absorvem radiação em todos os comprimentos de onda [os constituintes atmosféricos e suas bandas de absorção podem ser vistos no Gráfico 4 mais abaixo]. Enquanto a atmosfera absorve somente 24% da radiação solar que atinge a Terra, que é de ondas curtas, somente 9% da radiação terrestre infravermelha é liberada diretamente no espaço, principalmente através da chamada janela atmosférica, constituída de comprimentos de onda na faixa de 8,5  $\mu\text{m}$  – 11,0

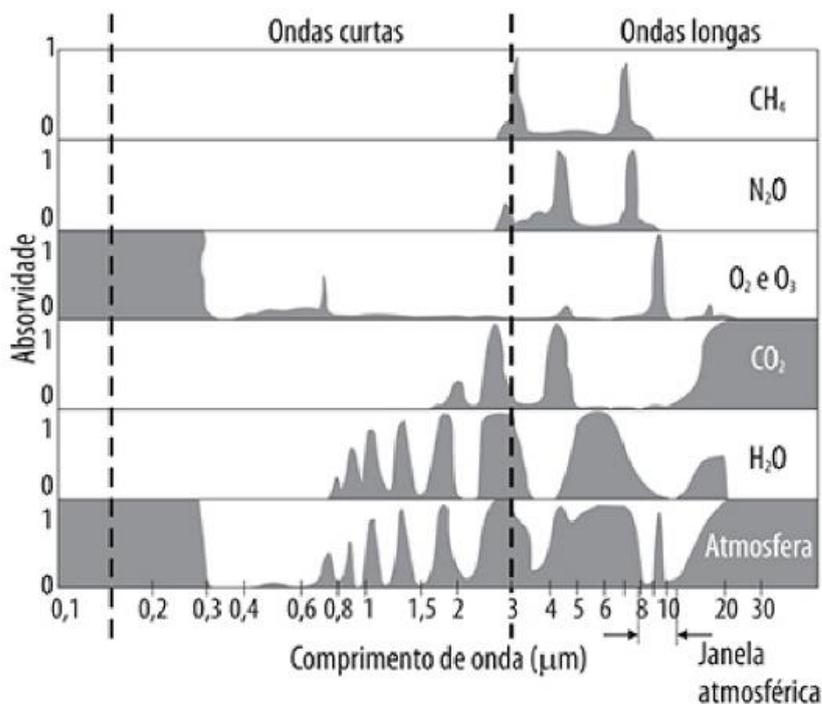
$\mu\text{m}$ . Os 91% restantes são absorvidos pela atmosfera. Esta capacidade da atmosfera à radiação infravermelha em relação à sua transparência à radiação de ondas curtas é geralmente chamada de efeito estufa. Em outras palavras, a atmosfera age como o vidro numa estufa, admitindo a radiação solar, mas não permitindo que a radiação terrestre saia para o espaço (AYOADE, 1996, p. 36).

Figura 4 - Estimativa do balanço de energia global anual da Terra



Fonte: IPCC (2007, p. 96 apud ONÇA, p. 73)

Gráfico 4 - Absorção seletiva da radiação solar e terrestre pela atmosfera



Fonte: OKE (1978, apud MENDONÇA & MORESCO, 2007)

Essa radiação solar incidente sobre a superfície da Terra não a atinge de maneira uniforme. Como relata Ayoade (1996, p. 25, 26, 27), ela varia principalmente de acordo com três fatores: período do ano, período do dia e latitude. Quanto menor a latitude, isto é, quanto mais próximo do Equador, tanto mais concentrada será a intensidade de radiação por unidade de área e tanto menor será o albedo (proporção da energia incidente refletida pela superfície). O contrário ocorre na medida em que se afasta do Equador em direção aos polos. Em relação à duração do dia (que varia com a latitude e com a estação), a variação da duração do período de luz obviamente afeta a quantidade de energia recebida. Nas proximidades do Equador, dias e noites são de duração quase igual durante o ano. A duração do dia geralmente aumenta ou diminui com o aumento da latitude, dependendo da estação. Esta muda de acordo com a variação da distância da Terra para o Sol durante o ano, uma vez que a órbita da Terra ao redor do Sol é mais elíptica do que circular. Essas variações na distância afetam a quantidade de energia solar recebida. Como exemplo, a energia solar recebida por uma superfície normal ao raio solar é 7% maior no dia três de janeiro, no periélio, do que no dia 4 de julho no afélio. Além desses fatores, a energia total emitida pelo Sol no espaço (isto é, o output solar) não é constante, sofrendo variações. Dessa forma, não é constante também a própria quantidade total de energia solar interceptada pela Terra.

O padrão de distribuição da energia solar que atinge a Terra, explica Ayoade (1996, p. 26, 27), é ligeiramente alterado pela superfície terrestre, basicamente devido ao efeito da atmosfera. Ela absorve, reflete, difunde e reirradia a energia solar. Aproximadamente cerca de 18% da radiação incidente é absorvida pelo ozônio estratosférico e pelo vapor d'água. Quanto maior é a cobertura de nuvens, menor é a penetração da insolação, pois elas são responsáveis por grande parte da refletância da radiação de ondas curtas. A difusão da energia solar se dá principalmente por moléculas de ar e material particulado dentro da atmosfera. Essa difusão pode ser ascendente (em direção ao espaço) ou descendente (em direção à superfície da Terra). Estima-se que 6% da radiação que atinge o topo da atmosfera é difundida para baixo e atinge a superfície como radiação difusa. A insolação que atinge a superfície da Terra também sofre reflexão (albedo), variando de acordo com o tipo de superfície. Aquelas mais secas ou de cores claras refletem mais radiação que superfícies úmidas. O albedo da maior parte das superfícies varia de acordo com o comprimento de onda e com o ângulo de incidência dos raios luminosos. Raios luminosos verticais geralmente produzem albedo menor que os raios oblíquos ou inclinados. Por isso o albedo de uma determinada superfície é elevado durante o nascer e o por do Sol, e baixo por volta do meio dia.

Ayoade (1996, p. 28) destaca que dois outros fatores que influenciam a distribuição da insolação sobre a superfície da Terra são:

- a distribuição das superfícies terrestres e aquáticas
- a elevação e aspecto das mesmas.

Isso porque a terra e a água apresentam diferentes propriedades térmicas, reagindo de forma diferente à insolação. A água, por possuir calor específico mais elevado, se aquece e se resfria mais lentamente que o solo. Assim, enquanto a água tem uma tendência de armazenar o calor que recebe, a terra, por outro lado, rapidamente o cede para a atmosfera. Além disso, superfícies aquáticas apresentam albedo menor, absorvendo mais energia que o solo. Apresentam maior transparência, de modo que os raios do Sol podem penetrar mais profundamente nela, ao contrário do solo, que é mais opaco. A transferência de calor na água se dá por convecção, maneira mais eficiente que a condução, pela qual se processa a troca de calor no solo. E a evaporação, processo de resfriamento que envolve utilização de energia, é mais contínua e intensa por sobre as superfícies aquáticas do que sobre o solo (Ayoade, 1996, p. 29, 30)

A elevação e aspecto da superfície terrestre também interferem na distribuição da insolação na superfície, particularmente em microescala ou em escala local. Os valores de insolação em áreas de altitude elevada geralmente são maiores que os constatados em ambientes próximos ao nível do mar. A massa de ar menor sobre locais situados em elevadas altitudes assegura menor interferência da atmosfera sobre a insolação (Ayoade, 1996, p. 30).

A busca pelo entendimento da interferência e combinação dos diversos fatores relatados na interceptação da energia solar pelo planeta, na distribuição dessa energia pela atmosfera e em sua interação com diferentes tipos de superfície invoca o conceito de balanço radiativo. O balanço de radiação, esclarece Ayoade (1996, ano, p. 36), significa a diferença entre a radiação que é absorvida e emitida por um dado corpo ou superfície. Ou seja, é a diferença entre a radiação de entrada (do Sol - ROC) e a radiação de saída (da Terra - ROL). Quando esse balanço é perturbado por influência de algum fator climático, coloca Philander (2008 *apud* OLIVEIRA, 2010, p. 48, 49), usa-se o conceito de “forçamento radiativo”, expresso em W/ m<sup>2</sup>. O IPCC (2013, p. 127) o define como uma medida da variação líquida no balanço energético em resposta a uma perturbação externa. Essa variação líquida implica numa resultante positiva (causando aquecimento) ou negativa (causando resfriamento).

Em geral, o balanço de radiação na superfície terrestre é positivo de dia e negativo à noite. Também no decorrer do ano como um todo, o balanço de radiação

na superfície da Terra é positivo, enquanto o da atmosfera é negativo. Para o sistema Terra-atmosfera como um todo, o balanço é positivo entre as latitudes 30° S e 40° N, e negativo no restante. Esses padrões de balanço da radiação tem implicação na circulação geral da atmosfera (AYOADE, 1996, p. 36).

É justamente o desequilíbrio existente na radiação líquida juntamente com o desequilíbrio na umidade e no momentum (momento angular) entre as baixas e as altas latitudes e entre a superfície da Terra e a atmosfera que constitui a causa básica e fundamental do movimento atmosférico, horizontal ou vertical. Pensando-se nos sistemas de dinâmica atmosférica e nas escalas espaciais e de tempo em que podem ocorrer, é possível falar em circulações atmosféricas primárias, secundárias e terciárias, em ordem decrescente de grandeza, tanto em suas escalas de área quanto de tempo. A circulação primária é justamente a circulação geral da atmosfera, descrita por Barry e Chorley (1976) como sendo os padrões em larga escala (ou globais) de vento e pressão que se mantêm ao longo do ano ou se repetem sazonalmente. Os padrões climáticos em larga escala determinam os padrões em menor escala. Isso quer dizer que há uma hierarquia fortemente estigmatizada em que padrões climáticos em menor escala estão subordinados aos padrões climáticos em larga escala (AYOADE, 1996, p. 72, 73).

É a circulação geral que realmente determina o padrão dos climas do mundo. Por exemplo, como a circulação geral tende a se dispor em zonas latitudinais, os climas do mundo também tendem a ocorrer em zonas. Inseridos dentro da circulação geral estão os sistemas circulatórios secundários, tais como as depressões e os anticiclones das latitudes médias e as várias perturbações tropicais. Comparados à circulação geral da atmosfera, tais sistemas circulatórios são de existência relativamente breve e se movem muito rapidamente. Os sistemas de circulação terciária consistem principalmente de sistemas de ventos locais, tais como as brisas terrestres e marítimas, as ondas de sotavento, os ventos catabáticos e anabáticos. Estes sistemas circulatórios são precisamente localizados, sendo amplamente controlados por fatores locais, e seus períodos de existência são consideravelmente mais curtos do que os dos sistemas secundários de circulação (AYOADE, 1996, p. 73).

As explanações feitas até aqui preparam o terreno para o desenvolvimento de uma visão mais razoável do que vem a ser o complexo sistema climático terrestre. Vale ressaltar que o modo pelo qual se processa efetivamente o efeito estufa pode ser entendido de diferentes formas, o que será discutido mais à frente, no Capítulo 5. A interpretação mais

usual para esse fenômeno constitui-se em uma das bases de sustentação da teoria do aquecimento global, uma teoria de mudança climática bastante difundida e aceita atualmente. Contudo, como relata Ayoade (1996, p. 212), diferentes teorias podem ser requeridas para explicar tais mudanças no clima. Esta é a razão porque nenhuma teoria isolada de mudança climática foi considerada satisfatória na explicação de todas as variações que ocorreram no clima mundial, pois acredita-se que vários são os fatores que atuam para causar uma mudança no clima. As várias teorias de mudança climática, que foram formuladas pelos vários pesquisadores no decorrer dos anos, podem ser discutidas sob três amplas categorias, a saber: causas terrestres, astronômicas, e extraterrestres, como exemplifica a Tabela 3. A seguir, essas possíveis causas (chamadas aqui de fatores) são abordadas.

**Tabela 3 - Teorias das causas de mudanças climáticas**

---

<b>A. Causas terrestres</b>
1. Migração polar e deriva continental
2. Mudanças na topografia da Terra
3. Variações na composição atmosférica
4. Mudanças na distribuição das superfícies continentais e hídricas
5. Variações na cobertura de neve e de gelo
<b>B. Causas astronômicas</b>
1. Mudanças na excentricidade da órbita terrestre
2. Mudanças na precessão dos equinócios
3. Mudanças na obliquidade do plano de eclíptica
<b>C. Causas extraterrestres</b>
1. Variações na quantidade de radiação solar ( <i>output solar</i> )
2. Variações na absorção da radiação solar exterior à atmosfera terrestre

---

Fonte: AYOADE, (1996, p. 213)

## 3.1 Fatores Terrestres

### 3.1.1 Gases de Efeito Estufa

#### Vapor d'água

Considerando os componentes do ar atmosférico, o vapor d'água possui especial destaque por sua importância nos processos de troca de energia e, assim, na dinâmica climática. Segundo Botkin & Keler (2000 *apud* BRAGA et al, 2005, p. 168), a porcentagem de vapor d'água na atmosfera pode variar de 1 a 4% em volume da mistura total, o que depende da temperatura e da pressão atmosféricas, além de outros fatores. Um desses outros

fatores, como explicita Ayoade (1996, p. 15, 27, 28, 36, 128), é a disponibilidade de água na superfície terrestre. Ele também ressalta que a quantidade de vapor d'água contido na atmosfera varia de lugar para lugar e no transcurso do tempo numa determinada área, podendo ir de praticamente 0%, em áreas quentes e áridas, até um máximo de 3% nas latitudes médias e 4% nos trópicos úmidos. A absorção de radiação pelo vapor d'água atinge o nível mais alto entre 0,9  $\mu\text{m}$  e 2,1  $\mu\text{m}$ , ocorrendo também expressivamente no intervalo entre 5,3  $\mu\text{m}$  a 7,7  $\mu\text{m}$ , e além de 20  $\mu\text{m}$ . Ainda que o vapor d'água represente somente 2% da massa total da atmosfera e 4% de seu volume, é de grande significado por diversas razões, de modo que os climatólogos e meteorologistas estão interessados em sua quantidade e distribuição no tempo e no espaço.

Em primeiro lugar, o vapor d'água é a origem de todas as formas de condensação e de precipitação. A quantidade de vapor d'água num certo volume de ar é uma indicação da capacidade potencial da atmosfera para produzir precipitação. Em segundo lugar, o vapor d'água pode absorver tanto a radiação solar quanto a terrestre e, assim, desempenha o papel de regulador térmico no sistema Terra-atmosfera. Em particular, ele exerce um grande efeito sobre a temperatura do ar. Em terceiro lugar, o vapor d'água contém calor latente e essa energia é liberada quando o vapor se condensa. O calor latente contido no vapor d'água é importante fonte de energia para a circulação atmosférica e para o desenvolvimento de perturbações atmosféricas. Em quarto lugar, por conter o vapor d'água calor latente, sua quantidade e distribuição vertical na atmosfera indiretamente afeta a estabilidade do ar. Em quinto lugar, a quantidade de vapor d'água no ar é importante fator que influencia a taxa de evaporação e evapotranspiração. É, assim, um importante fator que determina a temperatura sentida pela pele humana e, em decorrência, o conforto humano. Em sexto lugar, o vapor d'água, ao contrário dos outros gases atmosféricos, pode passar para a forma líquida ou sólida no nível das temperaturas atmosféricas normais. O vapor d'água constantemente muda de fase no sistema Terra-atmosfera (AYOADE, ano, p. 128).

Segundo o IPCC (2013, p. 666, tradução nossa), o vapor d'água é o maior contribuinte para o efeito estufa na atmosfera da Terra. A contribuição do vapor d'água para o efeito estufa natural em relação ao dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) depende do método contábil, mas pode ser considerado aproximadamente duas a três vezes maior. Vapor d'água adicional é injetado na atmosfera a partir de atividades antrópicas, principalmente através do aumento da evaporação de culturas irrigadas, mas também através do resfriamento de usinas de energia, e marginalmente através da combustão de combustíveis fósseis. Pode-se, portanto, questionar por que há tanta ênfase no  $\text{CO}_2$ , e não no vapor d'água, como forçamento para as mudanças

climáticas. O vapor d'água bem como o CO<sub>2</sub>, é preciso destacar, é emitido como produto dos processos de combustão de combustíveis fósseis.

No entanto, conforme entendimento do IPCC (2013, p. 666, tradução nossa), a quantidade de vapor de água na atmosfera é controlada principalmente pela temperatura do ar, e não pelas emissões. Por essa razão, os cientistas o consideram um agente de feedback, em vez de um agente de forçamento das mudanças climáticas. O vapor d'água se comporta diferentemente do CO<sub>2</sub> de uma maneira fundamental: ele pode se condensar e precipitar, possuindo um tempo de residência típico na atmosfera de dez dias. O fluxo de vapor de água para a atmosfera a partir de fontes antropogênicas é consideravelmente menor do que a evaporação “natural”. Por conseguinte, tem um impacto insignificante nas concentrações globais e não contribui significativamente para o efeito de estufa a longo prazo. Esta é a principal razão pela qual, na interpretação do Painel, o vapor d'água troposférico (tipicamente abaixo de 10 km de altitude) não é considerado um gás antropogênico que contribui para o forçamento radiativo.

### **Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)**

O dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), gás inodoro e incolor, é um dos gases componentes da atmosfera terrestre, correspondendo a uma fração bem pequena do volume total do ar seco, cerca 0,03%, segundo Berry e Chorley (1976 *apud* Ayoade, p. 16). É um gás fundamental na ocorrência do ciclo do carbono, bem como na dinâmica da vida na Terra tal como se conhece, participando dos processos biológicos de fotossíntese e respiração. Sua importância como possível regulador climático se deve à sua característica de bom absorvedor de radiação infravermelha (radiação de ondas longas), o que o credencia ao papel de um dos principais gases causadores do efeito estufa. Sua faixa espectral de absorção de radiação de ondas longas está entre 4 e 4,5 µm, e acima de 13,1 µm.

De acordo com o que informa o IPCC (2013, p. 470), no Fifth Assessment Report, o CO<sub>2</sub>, na atmosfera, é o principal gás de rastreamento do carbono, com uma concentração atual (2011) de aproximadamente 390,5 ppm (Dlugokencky and Tans, 2013<sup>a</sup> *apud* IPCC, tradução

nossa), o que corresponde a uma massa de 828 PgC.<sup>3</sup> (Prather et al., 2012; Joos et al., 2013 *apud* IPCC, tradução nossa). Como se sabe, esse gás é produto de reações de combustão e degradação de material orgânico.

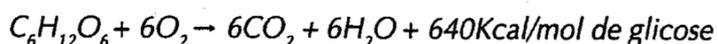
A atmosfera troca CO<sub>2</sub> com a biosfera e a hidrosfera. Como descreve Braga (et al 2005, p. 28), no processo de fotossíntese, o CO<sub>2</sub> é removido da atmosfera por seres autotróficos, que promovem a fixação do carbono em sua forma orgânica, armazenando energia química nas moléculas orgânicas da glicose. Essa energia armazenada nas moléculas orgânicas é liberada quando essas são quebradas em processo inverso ao da fotossíntese, ou seja, na respiração, que libera CO<sub>2</sub> para a atmosfera. Assim, por meio da fotossíntese e da respiração, o carbono passa da forma inorgânica à forma orgânica e volta à inorgânica, cumprindo seu ciclo biogeoquímico. Fotossíntese (representada na Expressão 1 abaixo) e respiração (representada na Expressão 2) são processos de reciclagem do carbono em várias formas químicas, em todos os ecossistemas.

#### Expressão 1 - Reação química simplificada da fotossíntese



Fonte: Braga et al (2005, p.28)

#### Expressão 2 - Reação química simplificada da respiração



Fonte: Braga et al (2005, p.28)

As trocas de CO<sub>2</sub> entre atmosfera e hidrosfera ocorrem de forma muito intensa e em fluxos gigantescos. Segundo o IPCC (2007, p. 528, 530 *apud* Onça, 2011, p. 75), através de processos inorgânicos, os oceanos conseguem absorver grandes quantidades de dióxido de carbono da atmosfera, pois este é um gás ligeiramente ácido e os minerais dissolvidos no oceano, ao longo do tempo geológico, deixaram-no ligeiramente alcalino. A absorção de CO<sub>2</sub> pelos oceanos pode se dar por meio de três processos, ilustrados na Figura 5. São as chamadas três bombas de carbono:

1) bomba solução - absorção ou lançamento de CO<sub>2</sub> devido à solubilidade, que está em função (não somente) da temperatura e salinidade das águas, sendo que, em águas mais frias e menos salinas o CO<sub>2</sub> é mais solúvel, ao contrário de águas mais quentes e mais salinas, em que é menos solúvel.

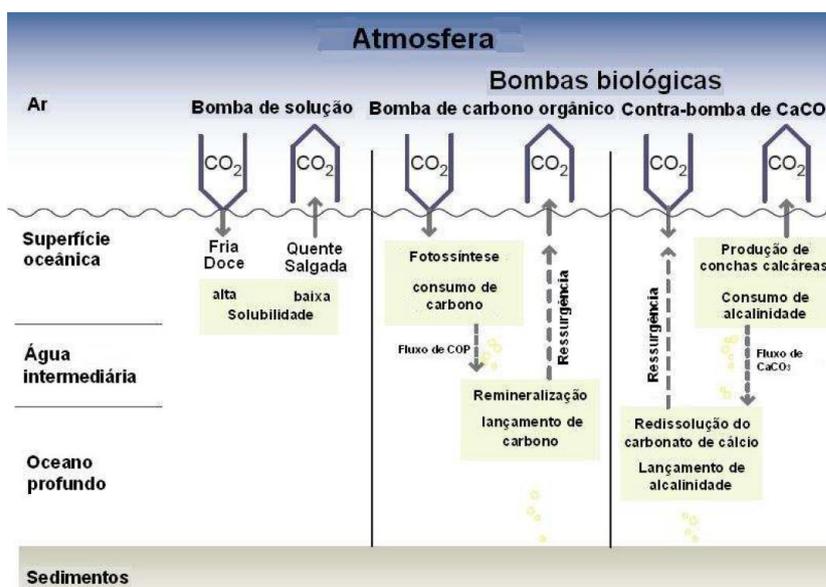
---

<sup>3</sup> 1 Gigatonelada de carbono = 1 GtC = 1 PgC (Petagram) = 10<sup>15</sup> gramas de carbono. Isso corresponde a 3.667 GtCO<sub>2</sub>.

- 2) bomba de carbono orgânico - mudanças na fixação na forma de carbono orgânico particulado (COP) em águas superficiais pela fotossíntese e o posterior afundamento dessa matéria orgânica (processo limitado pela disponibilidade de luz e nutrientes)
- 3) contra-bomba de  $\text{CaCO}_3$  – mudanças no lançamento de  $\text{CO}_2$  nas águas superficiais durante a formação de conchas calcárias pelo plâncton. Segundo o IPCC (2013, p. 472), microorganismos da superfície oceânica, após sofrerem afundamento, são mineralizados em carbono inorgânico dissolvido (CID) e íons cálcio. A bomba de  $\text{CaCO}_3$  opera contra a bomba de carbono orgânico em relação ao efeito sobre o  $\text{CO}_2$ : na formação de conchas calcárias, dois íons de bicarbonato são divididos em um carbonato e uma molécula dissolvida de  $\text{CO}_2$ , o que aumenta a pressão parcial nas águas superficiais, provocando uma liberação de  $\text{CO}_2$  para a atmosfera. Apenas uma pequena fração do carbonato exportado das águas superficiais por processos biológicos (bomba de carbono orgânico e contra bomba de  $\text{CaCO}_3$ ) atinge o fundo do mar, onde pode ser armazenado por milhares de anos ou mais.

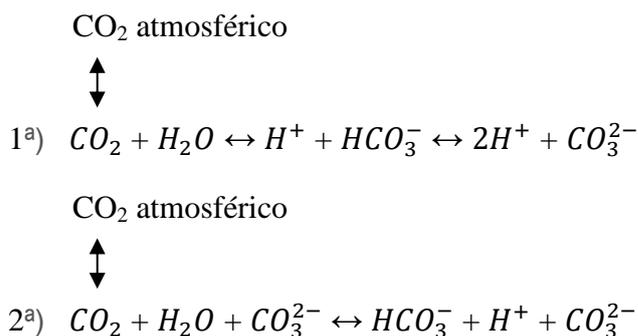
Ao entrar no oceano [as expressões a seguir, na Expressão 3, ilustram os processos aqui explicados], parte do dióxido de carbono reage imediatamente com a água para formar íons bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ) e carbonato ( $\text{CO}_3^{2-}$ ). Estes três compostos em conjunto são denominados carbono inorgânico dissolvido (CID) e seu tempo de residência relativo às trocas com a atmosfera e com as demandas oceânicas intermediárias é de menos de uma década. No inverno, a formação de águas profundas relacionada à circulação termohalina transporta grandes quantidades de CID para as profundezas oceânicas, que posteriormente retornam à superfície por transporte para águas quentes. Organismos mortos são convertidos a carbono orgânico dissolvido (COD), parte do qual é reconvertido a CID e o restante é sedimentado no fundo oceânico, podendo ser suspenso ou enterrado. Tanto a solubilidade quanto o bombeamento biológico mantém um gradiente vertical de dióxido de carbono entre a superfície oceânica (baixa concentração) e as camadas mais profundas (alta concentração), e dessa forma regulam as trocas de dióxido de carbono entre atmosfera e oceano. A intensidade da solubilidade depende globalmente da intensidade da circulação termohalina, da temperatura da superfície oceânica, salinidade, estratificação e cobertura de gelo. Já o bombeamento biológico depende da fotossíntese, que pode ser afetada por mudanças na circulação oceânica, suprimento de nutrientes e composição e fisiologia da comunidade de plânctons (IPCC, 2007, p. 514 *apud* ONÇA, 2011, p. 75).

Figura 5 - Esquema das bombas de carbono entre a atmosfera e o oceano



Fonte: IPCC (2007, p. 530 *apud* ONÇA, 2011, p. 75)

Expressão 3 – Troca de CO<sub>2</sub> entre atmosfera e oceano



Fonte: Adaptado de IPCC (2007, p. 529)

Existem diversas incertezas referentes aos efeitos da elevação das concentrações atmosféricas de dióxido de carbono sobre o sistema climático, de acordo com o IPCC (2007, p. 533 *apud* ONÇA e FELÍCIO, 2011, p. 1237). As principais envolvem as mudanças futuras na circulação oceânica e na estratificação por densidade, a reação da ciclagem biológica de carbono a um mundo mais quente e com mais dióxido de carbono, bem como a resposta da biota marinha à acidificação oceânica. Todos esses tópicos ainda são muito pouco conhecidos.

## **Metano (CH<sub>4</sub>)**

O CH<sub>4</sub> (metano) é um gás com alta capacidade de absorção de radiação infravermelha. É cerca de 23 vezes mais eficiente, de acordo com Artaxo (2014, p. 11), para provocar o efeito estufa por molécula do que o CO<sub>2</sub>. Sua parcela de composição do ar atmosférico é extremamente pequena, sendo considerado um elemento traço. Como menciona o IPCC (2007, p. 539 *apud* ONÇA, 2011, p. 79), é um gás estufa de menor importância em relação ao CO<sub>2</sub>, sendo produzido por bactérias que decompõem matéria orgânica em ambientes com baixa disponibilidade de oxigênio. Em relação às emissões de metano, as naturais incluem os pântanos, oceanos, florestas, incêndios, térmitas e fontes geológicas, enquanto as fontes antropogênicas incluem a rizicultura, digestão de ruminantes, aterros sanitários e tratamento de lixo, queima de biomassa, bem como extração de combustíveis fósseis.

Desde o início da era industrial, segundo o IPCC (2013, p. 475, 505), a concentração de metano na atmosfera passou de 722 ppb para 1803 parte por bilhão (ppb) em 2011. Entre a década de 1980 e 2000, o crescimento da concentração de CH<sub>4</sub> na atmosfera caiu para próximo de zero. Mais recentemente, desde 2006, observa-se novamente um novo crescimento na concentração do CH<sub>4</sub> na atmosfera. O IPCC ressalta que são grandes as incertezas no atual conhecimento sobre o balanço do metano e sua evolução ao longo do tempo.

## **Óxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>)**

As principais fontes naturais de NO<sub>2</sub> para a atmosfera, segundo o IPCC (2007, p. 143-144 *apud* ONÇA, 2011, p. 80-81) constituem-se dos oceanos e do solo de florestas úmidas. Já a principal fonte de emissões antropogênicas corresponde à maior produção microbiana de áreas agrícolas com emprego de fertilizantes. As emissões provenientes de veículos automotores também são importantes. Suas concentrações pré-industriais são estimadas em 270 ppb, aumentando para 319 ppb em 2005, resultando num forçamento radiativo de +0,16 W/m<sup>2</sup>. Seu tempo de residência na atmosfera é de cerca de 114 anos.

### 3.1.2 Nuvens

As nuvens absorvem radiação em diversos intervalos do espectro eletromagnético, em praticamente todos os comprimentos de onda. Ou seja, absorvem tanto radiação infravermelha (de ondas longas), quanto radiação na faixa da luz visível e do ultravioleta. A quantidade de radiação refletida pelas nuvens, revela Ayoade (1996, ano, p. 35), depende não somente da quantidade e espessura das mesmas, mas também do tipo de nuvem. A seguir, na Tabela 4, é possível verificar o albedo estimado para diferentes tipos de nuvem.

Ao refletir a radiação solar de volta para o espaço e ao bloquear a radiação infravermelha emitida pela superfície, as nuvens exercem efeitos competitivos sobre o balanço radiativo terrestre. O balanço entre estes dois efeitos depende de uma série de fatores que incluem as propriedades microfísicas e macrofísicas das nuvens. Entretanto, sabe-se ao menos que, nas atuais circunstâncias climáticas, esse saldo é negativo, ou seja, as nuvens atuam no sentido de resfriamento (IPCC 2007, p. 635 *apud* ONÇA, 2011, p. 279-280).

**Tabela 4 - Albedo de vários tipos de nuvens**

<b>Tipo de nuvem</b>	<b>Albedo %</b>
Cumuliforme	70 – 90
Cumulonimbus: grande e espessa	92
Stratus (150 – 300 metros de espessura)	59 – 84
Stratus de 500 metros de espessura, sobre o oceano	64
Stratus fino sobre o oceano	42
Altostratus	39 – 59
Cirrostratus	44 – 50
Cirrus sobre o continente	36

Fonte: Sellers (1965); Barry e Chorley (1976) (*apud* Ayoade, 1996, p. 28)

Segundo coloca Molion (2008, p. 13), em princípio, a temperatura global tende a aumentar principalmente com a presença de nuvens estratiformes (forma de “camadas horizontais”) na alta troposfera. Essas nuvens altas (tipo “cirrus”) são mais tênues, constituídas por cristais de gelo em sua maior parte, tendendo a aquecer o planeta, pois permitem a passagem de ROC (radiação de ondas curtas), mas absorvem fortemente ROL (radiação de ondas longas) que escaparia para o espaço exterior, ou seja, nuvens cirrus intensificam o efeito-estufa (feedback positivo). Por outro lado, nuvens baixas (tipo “estratus”), mais espessas, tendem a causar resfriamento, pois aumentam o albedo planetário

(feedback negativo). Mas, de acordo com Spencer (2008, p. 73 *apud* ONÇA, p. 280), mesmo duas nuvens com a mesma espessura, altitude e conteúdo de água, podem provocar efeitos diferentes sobre o clima, pois o tamanho das gotículas exerce um forte impacto sobre a quantidade de energia refletida para o espaço: muitas gotas pequenas refletem muito mais energia do poucas gotas grandes.

As nuvens são responsáveis por até dois terços do albedo planetário, que é de 30%, ressalta o IPCC (p. 114, 633 *apud* ONÇA, p. 280). Uma diminuição de apenas 1% nesse valor, ou seja, de 30% para 29%, provocaria possivelmente uma elevação na temperatura terrestre de cerca de 1°C, um valor muito significativo, equivalente ao efeito de forçamento radiativo direto para o dobro das concentrações atmosféricas de CO<sub>2</sub> atuais. A compreensão dos mecanismos de realimentação das nuvens requer uma compreensão de como mudanças no clima podem afetar as propriedades radiativas dos diferentes tipos de nuvens e do impacto de tais mudanças no balanço radiativo terrestre. Além disso, como as regiões de nebulosidade são também regiões de umidade, uma mudança na fração de nuvens será importante tanto para os mecanismos de realimentação das nuvens quanto do vapor d'água.

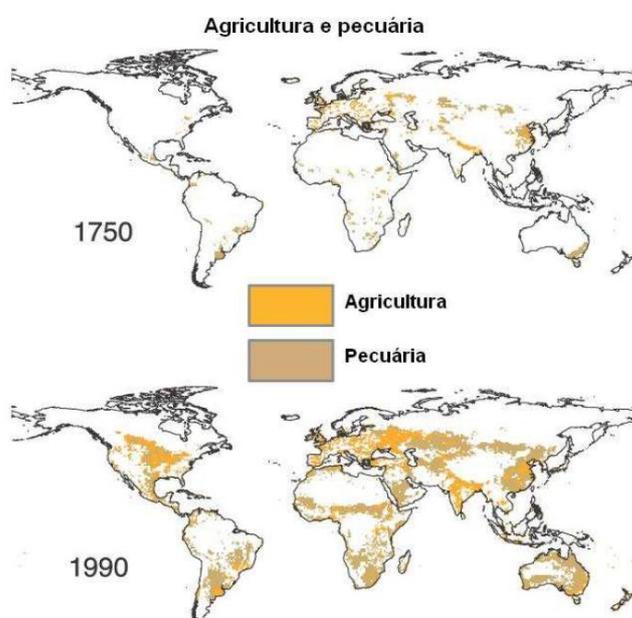
### 3.1.3 Aerossóis

De acordo com o IPCC (2007, p. 153, 555 *apud* ONÇA, 2011, p. 83, 84), os aerossóis são quaisquer partículas líquidas ou sólidas suspensas no ar. São parte integrante do ciclo hidrológico e do balanço radiativo da atmosfera, com muitos mecanismos de realimentação possíveis e ainda pouco compreendidos, envolvendo elevada complexidade. Um aspecto de suas interações com o clima consiste nos chamados efeitos adversos diretos, absorção ou bloqueio de radiação de onda curta e termal, alterando assim o balanço radiativo terrestre. O outro consiste nos efeitos indiretos sobre as propriedades microfísicas das nuvens, cujo principal parâmetro de avaliação é a eficiência do aerossol na atuação como um núcleo de condensação, que varia em função do tamanho, da composição química, da taxa de mistura e do ambiente de origem das partículas. O IPCC denomina de primeiro efeito indireto ou efeito sobre o albedo das nuvens aquele sobre o número e o tamanho das gotas, com a quantidade inicial de água constante. Já os efeitos sobre a quantidade de água, altura e durabilidade das nuvens é chamado de segundo efeito indireto ou efeito sobre a durabilidade das nuvens. Quando se compara, relata o IPCC (p. 295 *apud* ONÇA, p. 84), o estudo dos aerossóis ao dos gases estufa, é muito mais difícil identificar suas fontes e a atribuir-lhe

responsabilidades por efeitos sobre o clima. Primeiramente, muitas espécies de aerossóis não são emitidas diretamente de um único tipo de fonte, mas são formadas na atmosfera a partir de substâncias precursoras. Depois, alguns aerossóis consistem de partículas cujas propriedades físicas, como o tamanho e o índice de refração variam muito e, como seus tempos de residência e efeitos radiativos dependem fortemente de suas propriedades, não faz muito sentido a indicação de um valor único para forçamento de tais aerossóis. E em terceiro lugar, diferentes espécies de aerossóis frequentemente se combinam para formar partículas com propriedades ópticas e tempos de residência diferentes de seus componentes originais. Por fim, os aerossóis afetam as nuvens de modo muito complexo, através de limpeza, adição de massa e formação de novos aerossóis nas proximidades ou em seu interior. Alguns dos tipos importantes de aerossóis apontados pelo IPCC são: poeira mineral, sal marinho, material particulado industrial, compostos de carbono, aerossóis biogênicos, sulfatos, nitratos.

### 3.1.4 Mudanças no uso da terra

Figura 6 - Áreas cobertas por agricultura e pecuária em 1750 e em 1990



Fonte: IPCC (2007, p. 181 apud ONÇA, 2011, p. 90)

As mudanças no uso da terra, ilustradas na Figura 6 (considerando principalmente a partir do século XVIII), são colocadas como uma das principais causas antrópicas de emissão de gases provocadores de efeito estufa, uma vez que promovem alterações nas propriedades

físicas da superfície terrestre, afetando também os processos biogeoquímicos que nela ocorrem ou dos quais participa. Como coloca o IPCC (2007, p. 180-181 *apud* ONÇA, 2011, p. 90), essas mudanças podem provocar perturbações climáticas tanto por exercer forçamentos radiativos, com alteração do albedo, quanto por modificar processos como os fluxos de calor sensível e latente e a transferência de momento para a atmosfera.

### 3.1.5 Vulcanismo

De acordo com Molion (2008, p. 60), erupções vulcânicas explosivas lançam grandes quantidades de aerossóis na estratosfera, provocando o aumento do albedo planetário e podendo causar resfriamento significativo durante décadas. Os efeitos sobre o clima estão associados ao tipo, magnitude e frequência dos eventos de erupção, podendo perdurar por prazos mais reduzidos (dias) ou mais prolongados (anos). Mas estes efeitos podem ser sentidos rapidamente, num prazo bastante curto. Como cita ONÇA (2011, p. 92), existem basicamente dois tipos de vulcões: os difusos que estão continuamente lançando lavas, gases e cinzas, e afetam somente o meio ambiente local; e os explosivos, que conseguem injetar material particulado e dióxido de enxofre diretamente na estratosfera, produzindo perturbações substanciais no balanço radiativo do planeta e afetando o clima em escala global.

Grandes erupções vulcânicas podem provocar reduções globais de temperatura de cerca de 0,5°C durante meses ou mesmo anos. Sua posição geográfica também é relevante para determinação de seus efeitos climáticos: grandes erupções vulcânicas na região equatorial, por conta dos mecanismos de transporte, tendem a distribuir aerossóis por toda a atmosfera, enquanto o vulcanismo ocorrido nas latitudes médias e altas afetará somente o seu hemisfério (IPCC, 2007, p. 97, 193; PLIMER, 2009, p. 210 *apud* ONÇA, 2011, p. 92).

Ainda segundo o IPCC (p. 195 *apud* ONÇA, p. 92), quatro mecanismos diferentes são considerados com relação à resposta do clima às explosões vulcânicas: elas introduzem gradientes horizontais e verticais de aquecimento que podem alterar a circulação atmosférica; os forçamentos vulcânicos podem interagir com variabilidades internas do sistema climático (como o El Niño), amplificando, diminuindo, ou desviando essas variações; e, por último, os aerossóis vulcânicos alteram a química atmosférica, produzindo ou perturbando reações.

### 3.1.6 Modos de variabilidade

Além dos fatores de regulação climática global mais relevantes, há processos físicos internos ao sistema Terra-atmosfera muito significativos na determinação do clima no mundo, como explica Molion (2008, p. 59), fazendo referência à variações da circulação atmosférica associadas às variações de temperatura de superfície do mar (TSM). As variações nas configurações das TSM (temperaturas de superfície do mar), devido às alterações de transporte e distribuição horizontal de calor sensível nos oceanos, afetam as temperaturas do ar, já que as trocas de calor entre a superfície do oceano e a atmosfera sofrem modificações. Como a atmosfera é aquecida por debaixo, em seus níveis mais próximos à superfície, os oceanos constituem a condição de contorno inferior mais importante para a atmosfera e para o clima global, considerando que cobrem 71% da superfície terrestre.

A circulação atmosférica global exibe alguns modos preferenciais de variabilidade, dos quais todos se expressarão de alguma forma nos climas em superfície. Muitas teleconexões já foram identificadas, mas a combinação de apenas algumas delas consegue responder por boa parte da variabilidade interanual na circulação atmosférica e no clima. Os padrões de teleconexões tendem a ser mais proeminentes no inverno, quando a circulação é mais intensa. Sua intensidade e a maneira como influenciam o clima também variam em escalas mais longas; as conhecidas mudanças decadais são comumente reais, e não devido a uma eventual qualidade inferior dos registros no passado (IPCC, 2007, p. 286, 287 apud ONÇA, 2011, p. 94, 95).

Visando explorar os efeitos da elevação da TSM, Felício (2009, p. 10, 11) expõe que, com o aumento da temperatura de superfície do mar (em uma distribuição espacial considerável - uma grande porção do Pacífico), aumentam-se os valores de evaporação do oceano, onde grande quantidade de água passa do sistema oceânico para o atmosférico. Vale ressaltar que existe transporte de massa e energia durante esse processo. Com a TSM mais alta, é maior também a emissão de radiação de ondas longas por parte da superfície oceânica. Além disso, os valores altos de TSM reduzem a solubilidade do CO<sub>2</sub>, que tende a ser mais lançado para a atmosfera. A maior concentração de vapor d'água na atmosfera colabora para uma maior formação de nuvens, que tende a intensificar o efeito estufa, aprisionando de forma mais efetiva a radiação de ondas longas emitidas mais intensamente pela superfície. Assim, como produto, tem-se a elevação da temperatura atmosférica.

De acordo com Molion (2008, p. 59), conhece-se bem a influência dos oceanos na variabilidade climática de curto prazo. Um exemplo é o ENOS (El Niño-Oscilação Sul), sendo notória a grande variabilidade causada pelos eventos El Niño (1982, 1987, 1998), observada na série de temperaturas médias da troposfera global, produzida pelos sensores MSU e a bordo de satélite. Eventos ENSO, esclarece o IPCC (2007, p. 286, 287 *apud* ONÇA, 2011, p. 95) são fenômenos combinados entre a atmosfera e o oceano. O El Niño envolve o aquecimento das águas superficiais do Pacífico Tropical da região Próxima à Linha Internacional da Data até a costa ocidental da América do Sul, enfraquecendo o gradiente de temperatura das águas do Pacífico equatorial, normalmente forte, com mudanças associadas na circulação oceânica. Identificada como a contraparte atmosférica, a Oscilação Sul (SO – southern oscillation), envolve mudanças nos ventos alísios e na circulação e precipitação tropicais. Os eventos El Niño, historicamente, ocorrem em intervalos de três a sete anos, e alternam com os La Niña, que são fases opostas de temperatura abaixo da média no Pacífico tropical oriental.

Outros modos de variabilidade referidos pelo IPCC (2007, *apud* ONÇA, 2011, p. 96, 97, 98, 99) são os padrões PNA (Padrão Pacífico-América do Norte) e PSA (Padrão Pacífico-América do Sul), o PDO (Oscilação Decadal do Pacífico), a NAO (Oscilação do Atlântico Norte), o SAM (Modo Anular do Sul), e a AMO (Oscilação Multidecadal do Atlântico). O IPCC ressalta que as variações decadais nas teleconexões complicam consideravelmente a interpretação das mudanças climáticas.

Molion (2008, p. 59) enfatiza que a variabilidade oceânica de prazo mais longo e seus efeitos sobre o clima ainda não são bem conhecidos. Sabe-se que existem, além das mudanças de prazo mais longo nas circulações oceânicas de escala global, da ordem de décadas, como a Oscilação Decadal do Pacífico, mudanças que envolvem milênios, como a Circulação Oceânica Profunda.

### 3.1.7 Tectonismo

A tectônica de placas, ou seja, a dinâmica de movimentação das placas tectônicas no planeta Terra ao longo do tempo é um fator interveniente na determinação do clima. Seus efeitos podem ser de curto prazo, como explica Molion (2008, p. 18), quando movimentos ou deslizamentos de placas tectônicas causam terremotos e erupções vulcânicas, superficiais e submarinas. Com isso, podem ser provocadas, direta ou indiretamente, mudanças bruscas na

temperatura de superfície do mar e da atmosfera. As mudanças climáticas de longo prazo também estão associadas à tectônica de placas.

Como explica Oliveira (2011, p. 79), movimentações tectônicas que ocorrem em escalas de tempo de milhões de anos podem causar mudanças nos padrões da circulação atmosférica e da circulação oceânica. As correntes oceânicas dependem da geometria dos oceanos, fator totalmente influenciado pela tectônica das placas. Assim, em escalas de tempo geológico, o movimento das placas e dos continentes tem um efeito profundo sobre a distribuição de massas de terra, serras, e da conectividade dos oceanos, resultando na formação e separação dos continentes. A presença de continentes e sua topografia afetam o clima de diversas maneiras: as temperaturas nas altitudes elevadas são inferiores em comparação com regiões de altitudes baixas; cadeias de montanhas, ao desviar os ventos, forçam o ar a subir para regiões mais frias da atmosfera, provocando chuvas apenas de um lado das montanhas (chuvas orográficas); os centros das grandes massas continentais geralmente tem elevações relativamente altas e, conseqüentemente são regiões secas e frescas. A divisão dos continentes geralmente induz à formação de novos oceanos ao longo de orogenias (formação de montanhas) mais velhas, levando a um processo cíclico de fechamento e reabertura dos oceanos ao longo de praticamente as mesmas zonas, além de conseqüente formação e dissolução de supercontinentes. Segundo Ryan e Dewey (1997 *apud* OLIVEIRA, 2010, , p. 80), a abertura e fechamento de bacias oceânicas constituem os ciclos de Wilson.

### 3.1.8 Magnetismo terrestre

De acordo com Maruyama (2008, p. 44), a Terra possui um raio de 6400 Km, com um manto interno constituído de rochas, e um núcleo externo de ferro metálico com velocidades de deslocamento similares às das águas oceânicas superficiais. Acredita-se que esse campo magnético seja gerado por correntes de convecção de elétrons do núcleo externo do interior terrestre, e que ele desempenha uma barreira que protege os seres vivos contra os raios ultravioleta e matérias danosas, como raios cósmicos e plasmas solares. Quando o campo magnético da Terra é muito forte, os raios cósmicos e os raios solares provenientes do espaço sideral não conseguem penetrar na atmosfera.

O campo magnético só existe com uma corrente de convecção em larga escala no núcleo externo. Quando ela se torna forte, ele também se fortalece; quando a corrente enfraquece, o campo magnético também se debilita. As mudanças que a corrente de convecção do núcleo externo sofre tornam-na mais forte ou mais fraca em ciclos de cerca de um bilhão de anos ou, em escalas temporais mais curtas, em alguns milhares ou dezenas de milhares de anos (MARUYAMA, 2008, p. 45).

O magnetismo terrestre (geomagnetismo) e sua influência no clima é um tema de pesquisas recentes. A correlação entre geomagnetismo e o clima pode estar associado a variações do campo magnético, que está ligada com correntes externas na ionosfera e magnetosfera, induzida pelos ventos solares e pela radiação eletromagnética. Portanto, a evolução da tendência magnética possui alta correlação com a evolução da radiação solar. As variações entre a temperatura média e variações no campo geomagnético são tentadoras. Todavia, esta correlação aparente não é por si só suficiente para demonstrar uma conexão de causa e efeito. Os deslocamentos dos polos magnéticos nos últimos 105 anos demonstraram forte correlação com variações na temperatura, sugerindo uma conexão potencial entre esses dois fenômenos. O movimento dos polos magnéticos afeta o formato do campo geomagnético. As chamadas inversões magnéticas, em uma escala de tempo geológico, podem estar associadas às glaciações. Não é sugerido porém, que todas as inversões magnéticas estejam relacionadas a mudanças no clima (OLIVEIRA, 2011, p. 78).

## 3.2 Fatores Astronômicos

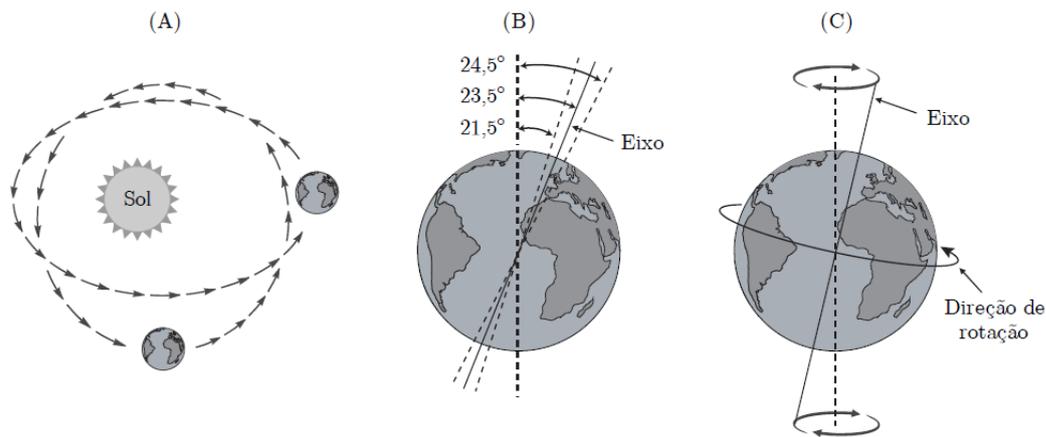
### 3.2.1 Variações orbitais terrestres

O matemático sérvio Milutin Milankovitch, explica Oliveira (2010, p. 66, 67), pesquisou sobre as mudanças nas características da órbita terrestre e sua influência sobre a quantidade de radiação solar recebida. Ele propôs que três características da órbita terrestre mudam lentamente ao longo de dezenas de milhares de anos (as três estão ilustradas na Figura 7 abaixo):

- excentricidade orbital (A);
- inclinação axial (B); e
- precessão dos equinócios (C).

As causas das variações orbitais terrestres estão relacionadas às influências dos movimentos dos corpos do sistema solar, segundo Scafetta (2010 *apud* OLIVEIRA, p. 67). Isso quer dizer que os parâmetros orbitais da Terra oscilam de acordo com a variação dos campos gravitacionais e magnéticos gerados pelo Sol, pela Lua e pelos outros planetas, especialmente Júpiter e Saturno.

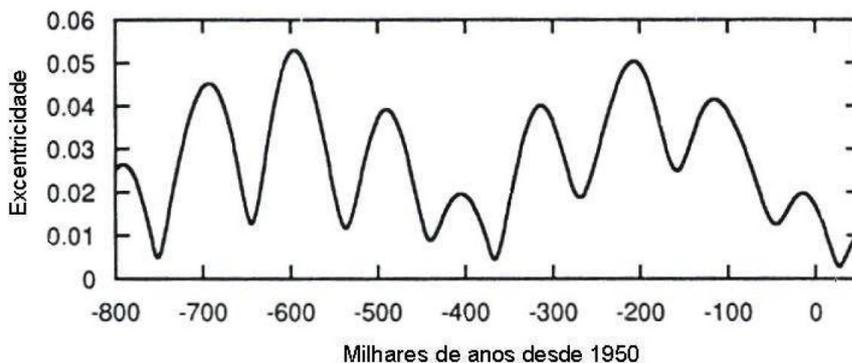
**Figura 7 - Variações orbitais terrestres: (A) excentricidade orbital; (B) inclinação do eixo terrestre; (C) precessão dos equinócios**



Fonte: Adaptado de HARPER (2007) por OLIVEIRA (2010, p. 67)

A órbita da Terra não é circular, mas elíptica, e sua excentricidade não é constante, conforme Onça (2011, p. 102, 103). Seu valor atual é 0,015, mas ela pode variar entre 0 e 0,06, dentro de intervalo de tempo de aproximadamente 100.000 anos, com um ciclo maior 400.000 anos. Essas variações na excentricidade da órbita terrestre interferem na interceptação da energia solar pela Terra, de modo que, quanto menor a excentricidade da órbita, menor é a diferença na duração das estações. O contrário também é verdadeiro. Abaixo, no Gráfico 5, apresentam-se registros de variações de excentricidade orbital.

Gráfico 5 - Excentricidade da órbita terrestre em função do tempo de 800.000 anos atrás até aqui a 50.000 anos

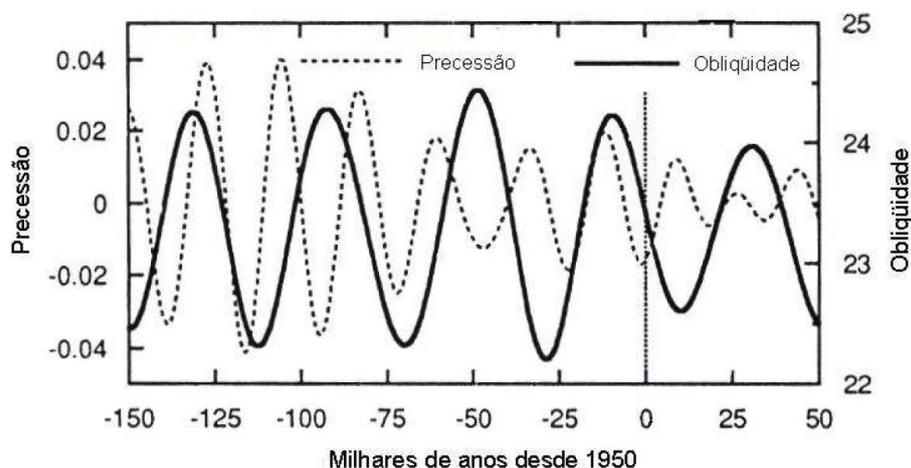


Fonte: Hartmann (1994, p. 308 *apud* ONÇA, 2010, p. 103)

Em relação à inclinação axial, discorre Onça (2011, p. 103), a Terra não forma um ângulo reto com o plano da eclíptica, mas sim mantém uma inclinação que, atualmente, vale cerca de  $23,5^\circ$ . Este valor de inclinação pode variar entre  $21,5^\circ$  e  $24,5^\circ$ , com uma periodicidade de 41000 anos. Essas variações determinam a diferenciação entre as estações do ano, de maneira que, se a obliquidade da eclíptica diminui, diminui o contraste entre as estações, porém aumenta-se a distinção entre as zonas. Se o ângulo é maior, conclui Harper (2007 *apud* OLIVEIRA, 2010, p. 67), os invernos são mais frios e os verões mais quentes (por exemplo), devido aos diferentes tempos de exposição à insolação atmosférica.

Sobre a precessão dos equinócios, Harper (*apud* OLIVEIRA, 2010, p. 68) explica que a Terra oscila sobre seu eixo em um movimento análogo ao de pião. Esse movimento influencia também o efeito que a variação da excentricidade pode exercer no clima. Durante um período de 26.000 anos o eixo de rotação oscila e forma um círculo. Esta oscilação determina a estação do ano durante a qual a Terra estará mais próxima do Sol. A seguir, mostra-se a variação da precessão dos equinócios no Gráfico 6.

Gráfico 6 - Parâmetros de precessão e obliquidade em função do tempo de 150000 anos atrás até aqui a 50000 anos.



Fonte: Hartmann (1994, p. 308 *apud* ONÇA, 2011, p. 104)

Milankovitch estudou dados astronômicos desde 600 mil anos até 1800 e calculou a quantidade de insolação para diferentes latitudes para cada ano. Em seguida, ele previu que essas mudanças cíclicas induziriam as eras glaciais, quando o montante de radiação solar fosse a menor durante os meses de verão, reduzindo assim o derretimento da neve nas altas latitudes. Assim, a neve que caiu durante o inverno não derreteria durante o verão, e ano após ano, ao longo de milhares de anos, o gelo acumulado formaria geleiras que avançariam em direção ao equador e, por fim, produziriam uma idade do gelo (HARPER, 2007 *apud* OLIVEIRA, 2010, p. 68).

Se a teoria de Milankovitch parece plausível, a maneira como tais ciclos afetam o clima não é tão clara (LINDZEN, 1994, p. 358; WHYTE, 1995, p. 32 *apud* ONÇA, 2011, p. 104). A teoria de Milankovitch foi bem aceita até a década de 1950, quando datações de carbono mostraram alguma discrepância entre as curvas de quantidade de radiação recebida previstas e os períodos glaciais observados, levando praticamente ao seu esquecimento. Nas últimas décadas, porém, ela vem sendo retomada. Mas a importância atribuída aos ciclos de Milankovitch não é a mesma para todos os cientistas. Muitos acreditam que as mudanças no recebimento e distribuição de energia envolvidas nos ciclos não são suficientemente grandes para terem produzido, sozinhas, os ciclos de períodos glaciais e interglaciais (HARTMANN, 1994, p. 302; WHYTE, 1995, p. 33 *apud* ONÇA, 2011, p. 105). Para outros, como Maruyama (2008, p. 48), está esclarecida a quase concordância entre as mudanças paleoclimáticas e os prognósticos de mudanças de Milankovitch.

## 3.3 Fatores Extraterrestres

### 3.3.1 Sol

As variações solares referem-se às mudanças na quantidade de radiação total emitida pelo Sol (output solar) e na sua distribuição espectral. Como já foi mencionado, a Terra recebe no topo de sua atmosfera um fluxo de energia eletromagnética denominado constante solar. Mas essa constante solar não é, de fato, constante como pensavam muitos cientistas anteriormente à disponibilidade de satélites de alta precisão. Devido às influências atmosféricas, todas as tentativas de detectar, em solo, as variações na constante solar fracassaram. Foi então que, com o uso de satélites fora da atmosfera, o monitoramento da radiação solar permitiu identificar pequenas variações (BEER; MENDER; STELLMACHER, 2000 *apud* OLIVEIRA, 2010, p. 61).

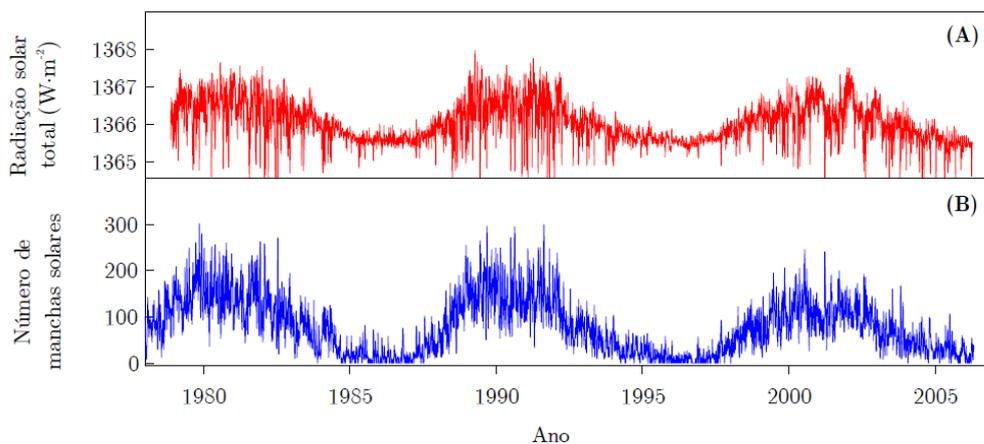
Segundo Oliveira (2010, p. 62), a radiação solar medida pelos satélites durante as décadas recentes indicam que as variações se apresentam de forma periódica, fenômeno conhecido como ciclo solar ou ciclo solar de Schwabe. Cada ciclo solar (com duração de 11 anos aproximadamente) é caracterizado por uma oscilação no surgimento e aparecimento de manchas solares, onde os períodos de atividades solares elevadas são conhecidos por máxima solar, e os períodos de atividade reduzida são denominados mínimo solar.

A maior parte da energia solar recebida pelo nosso planeta origina-se na fotosfera, cuja temperatura de emissão é aproximadamente 6000K. Podem ser vistas na fotosfera (mesmo a olho nu, durante o por do sol) manchas escuras chamadas manchas solares, que podem ser percebidas tanto na faixa do visível quanto em todo o espectro de emissão solar. O centro de uma mancha solar típica tem uma temperatura de emissão em torno de 1700K abaixo da média da fotosfera, ou seja, 25% menos. Seus tamanhos e durações variam de algumas centenas de quilômetros de diâmetro, durando um dia ou dois, até aquelas de dezenas de milhares de quilômetros, que duram vários meses. Em média, elas duram uma semana ou duas, cobrindo uma área do disco visível do Sol que varia entre 0 e 0,1%. Porém, as manchas solares são acompanhadas por regiões mais brilhantes chamadas fáculas, que cobrem uma fração de área muito maior que as manchas solares, com as quais elas parecem estar associadas. As fáculas são aproximadamente 1000K mais quentes que a média da fotosfera, e emitem 15% mais energia. No final das contas, as fáculas conseguem compensar e mesmo superar o decréscimo de radiação das manchas, o que faz com que o máximo de irradiação ocorra nos picos de atividade

solar, aproximadamente a cada 11 anos (HARTMANN, 1994, p. 289 *apud* ONÇA, 2011, p. 105).

Como não existem dados de observações diretas para estudar a variabilidade da radiação solar em escalas de tempo maiores do que décadas, explica Oliveira (2010, p. 62, 63) são realizadas estimativas com base em correlações comparativas a medições em testemunhos, da mesma forma que é feito nas reconstruções da temperatura média global. O mais importante método entre esses testemunhos é o registro das observações a olho nu do número de manchas solares, de que se tem registro desde 1610. A alta correlação entre os registros da atividade solar contidos em testemunhos e as medições dos valores de radiação solar (nas últimas décadas) obtidos com base numa composição de diversos satélites de observação, permite estimar razoavelmente a atividade solar no passado. O Gráfico 7 evidencia a seguir essa relação.

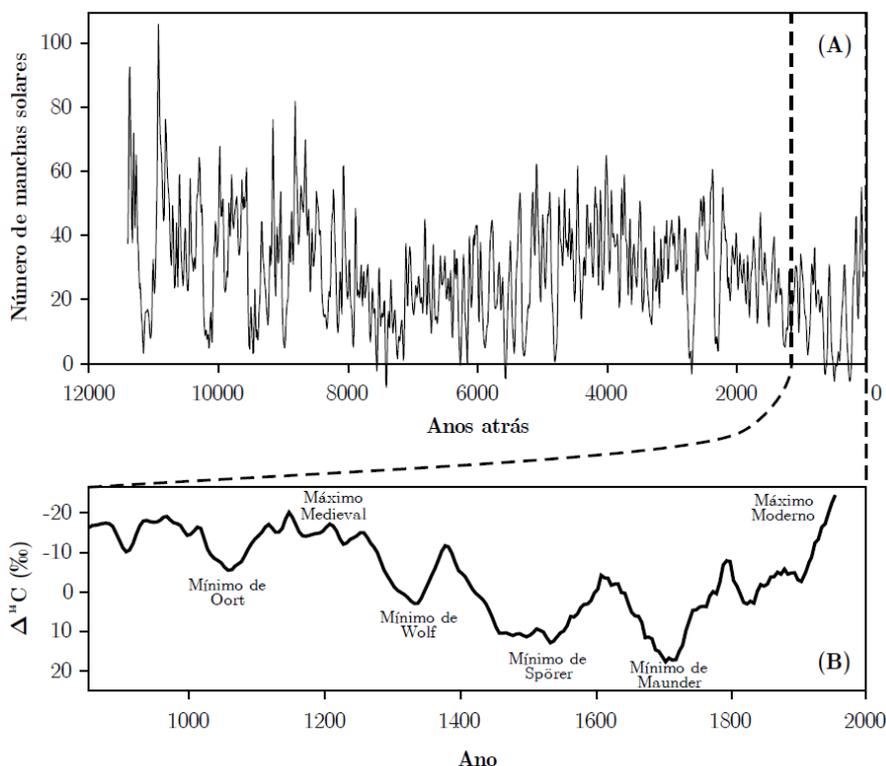
**Gráfico 7 - Variações desde 1978 da: (A) radiação solar total e (B) do número de manchas solares.**



Fonte: SCHOLL et al. (2007 *apud* OLIVEIRA, 2010, p. 62)

Além disso, prossegue Oliveira, reconstruções dendroclimatológicas da atividade solar, com base em datações radiométricas em anéis de árvores foram realizadas para períodos maiores que os quatro séculos de observações diretas do número de manchas solares. O gráfico 8 (A) exibe reconstruções do número de manchas solares nos últimos 11000 anos, enquanto que um recorte do período desde o ano 900 d. C., exibido no Gráfico 8 (B), traz os valores de concentração do radiocarbono ( $^{14}\text{C}$ ).

Gráfico 8 - Reconstruções das atividades solares passadas: (A) Variação da quantidade de manchas solares no últimos 11000 anos; (B) Concentração de radiocarbono atmosférico nos últimos 1100 anos



Fonte: SOLANKI et al. (2004), gráfico (A); e REIMER et al. (2004), gráfico (B) apud OLIVEIRA (2010), p. 64. 2010, p. 62

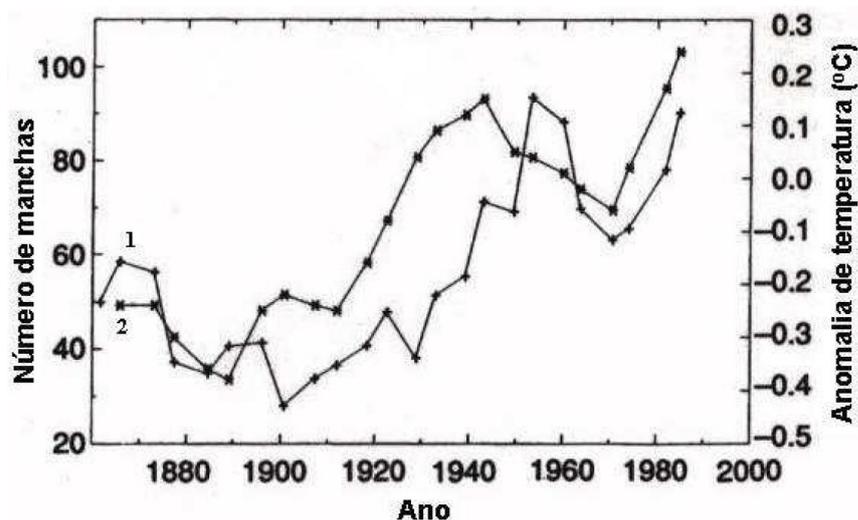
Observando a reconstrução nos últimos 1000 anos, os períodos de alta produção de  $^{14}\text{C}$  correspondem a períodos de baixa atividade solar, nomeados de Mínimo de Maunder, Sporer, Wolf e Oort. Musada et al. (2009) apontam que o Mínimo de Maunder está possivelmente associado à pequena Era do Gelo, implicando em uma correlação entre atividades solares e o clima terrestre global. As reconstruções do  $^{14}\text{C}$ , e por inferência, as atividades solares, indicam que, além do ciclo de Schwabe, o Sol possui outros ciclos, de acordo com Beer, Mender e Stellmacher (2000): ciclo de Hale, revelando que o ciclo solar é um ciclo magnético onde a polarização magnética das manchas solares inverte a cada 22 anos; ciclo de Gleissberg, 88 anos; ciclo de Suess; de 208 anos; e ciclos consideravelmente maiores, da ordem de 2000 anos ou mais (OLIVEIRA, 2011, p. 64-65)

A variação de output solar tem sido cada vez mais estudada nos últimos anos, com a geração de um número cada vez mais crescente de publicações científicas, e existem muitas discordâncias em relação ao impacto efetivo desses ciclos nas mudanças climáticas terrestres. Para Hartmann (apud ONÇA, 2011, p. 108), o efeito das explosões e proeminências solares no saldo total de energia do Sol é desprezível, e sua influência sobre o clima da Terra é pequena. A variação de irradiação entre o mínimo e o máximo de atividade solar nos ciclos de

11 anos é de no máximo  $1,5 \text{ W/m}^2$ , o que produziria uma oscilação de temperatura menor que  $0,1^\circ\text{C}$ . Ainda assim, os ciclos de 11 anos seriam muito curtos para a escala climática. Os sistemas naturais, principalmente os oceanos (por sua imensa inércia térmica) sofreriam uma mudança irrisória em face de um ciclo tão curto e de magnitude tão pequena. Assim, afirma Hartmann, em se tratando de mudanças climáticas, com exceção das primeiras eras geológicas, é possível tomar o Sol como uma fonte constante de energia.

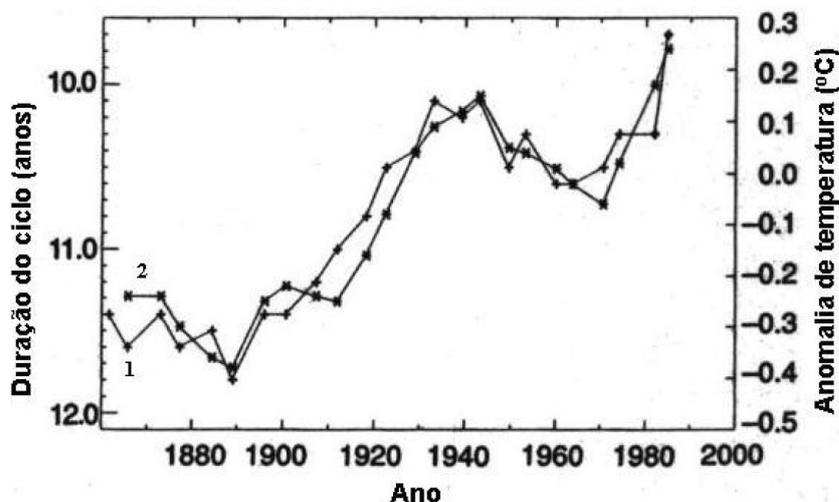
Já Hoyt e Schatten, de acordo com acreditam que, numa escala de décadas e séculos, as variações solares devem ser a principal componente natural das mudanças climáticas terrestres, visto que ambas se ajustam razoavelmente bem nos últimos quatro séculos. Vale ressaltar que isso não implica que outros fatores também não sejam importantes. Friis-Christensen e Lassen, no início da década de 90, também tentaram estabelecer uma correlação entre o número de manchas solares e a temperatura verificada no planeta (Gráfico 9), mas consideraram pouco satisfatória. Sugeriram então um parâmetro de melhor correlação com a temperatura, que seria a duração do ciclo de manchas solares (Gráfico 10). O bom ajuste entre as curvas sugere, apesar de não provar, uma influência direta da atividade solar sobre a temperatura global ONÇA (2011, p. 109, 110).

Gráfico 9 - Número de manchas solares (linha 1) e anomalias globais de temperatura em  $^\circ\text{C}$  (linha 2)



Fonte: FRISS-CHRISTENSEN; LASSEN (1991, p. 699 apud ONÇA, 2011, p. 110)

Gráfico 10 - Duração do ciclo de manchas solares em anos (linha 1) e anomalias globais de temperatura em °C (linha 2)



Fonte: FRISS-CHRISTENSEN; LASSEN (1991, p. 700 apud ONÇA, 2011, p. 110)

### 3.3.2. Raios cósmicos

Raios cósmicos são radiações de alta energia que cruzam o espaço cósmico e podem incidir sobre a Terra, coloca Maruyama (2008, p. 45). Em 1998, relata Molion (2008, p. 61), o físico dinamarquês Henrik Svensmark sugeriu a hipótese de que raios cósmicos intergalácticos (RCG) produzem aumento da concentração de núcleos de condensação (NCs) - partículas higroscópicas essenciais para dar início à produção de gotas d'água de nuvens e de chuva – ao entrarem na atmosfera terrestre. O aumento da concentração dos NCs propiciaria o aumento da cobertura de nuvens baixas que, por sua vez, aumentariam o albedo planetário e tenderiam a resfriar o planeta.

Segundo Oliveira (2010, p. 78, 79), os raios cósmicos tem sido estudados por uma vertente que relaciona a Climatologia com a Astronomia, a Cosmoclimatologia. Ela sugere justamente que a intensidade incidente de raios cósmicos na atmosfera correlaciona-se estreitamente com variações de cobertura global de nuvens. As nuvens refletem a entrada e a saída de radiação, e portanto elas desempenham um importante papel no balanço radiativo terrestre. Em escalas de tempo muito mais longo, parece existir também uma correlação entre as variações na fonte de raios cósmicos causada pela passagem de sistemas solares através dos braços espirais da Via Láctea, e as variações no clima da Terra no último 1 bilhão de anos. É possível estabelecer correlação que permite inferir que os Modos Quentes e Frios do clima na Terra podem estar associados à influencia dos raios cósmicos. Scafetta (2010) assinala que as

oscilações do campo magnético do sistema solar induzido pelo movimento dos planetas (em especial de Júpiter e Saturno) podem influenciar o plasma solar e o vento solar. O vento solar modula a ionosfera terrestre, que influencia o circuito elétrico atmosférico global.

## 4. TEORIA DO AQUECIMENTO GLOBAL – PANORAMA HISTÓRICO

A teoria do aquecimento global consiste na hipótese de que o ser humano, por meio de suas atividades emissoras de gases de efeito estufa (GEEs), principalmente de CO<sub>2</sub> (e em menor medida, de CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O) está provocando um aumento anormal da temperatura média global do planeta, o que implicaria em diversas consequências negativas. Assim, o CO<sub>2</sub>, por sua capacidade de absorção de radiação infravermelha (ROL), é apontado como o grande fator determinante para a intensificação do efeito estufa, ou seja, para o aquecimento global. Trata-se, portanto, de uma hipótese de mudança do clima do planeta devido a alterações promovidas pelo homem na composição da atmosfera. Conforme Steffen et al (2015 *apud* Artaxo, p. 16), “as atividades socioeconômicas na Terra cresceram de modo significativo ao longo dos últimos 200 anos e hoje estão sendo comparadas às forças geofísicas que dão forma a nosso planeta”.

Com o desenvolvimento das máquinas a vapor e, posteriormente, dos motores a combustão interna, o uso de combustíveis fósseis (inicialmente carvão, depois petróleo e gás) cresceu exponencialmente, até esses se tornarem hoje responsáveis por 70% a 80% da energia total utilizada em nosso planeta. Isso levou ao aumento da concentração atmosférica de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), que passou de cerca de 280 ppm, na era pré-industrial, para uma concentração média de 399 ppm, em 2015 (ARTAXO, 2014, p. 16).

Como esclarece Molion (2008, p. 9), a hipótese do efeito estufa intensificado (aquecimento global) é fisicamente simples: uma vez que a energia solar recebida pela Terra é constante e o albedo planetário também, quanto maior a concentração de GEE, menor seria o fluxo de radiação de ondas longas emitidas pela superfície terrestre para o espaço e, conseqüentemente, maior seria a temperatura do planeta. Isso porque a estabilidade do clima na Terra resulta do balanço entre o fluxo de ROC absorvido pelo planeta e o fluxo de ROL emitido para o espaço (ROC=ROL). Assim, o aquecimento global ocorreria, por exemplo, pela redução do albedo planetário, que aumentaria o fluxo de ROC absorvido, ou pela intensificação do efeito estufa, que reduziria a perda de ROL para o espaço.

A hipótese de que o ser humano poderia estar provocando o aquecimento do planeta ganhou uma força especial nas últimas décadas, aparecendo de forma mais recorrente e

concreta, mas ela não surgiu nas últimas décadas, não sendo propriamente nova. Aliás, ideias relacionando o ser humano a mudanças climáticas (tanto no sentido de aquecimento quanto resfriamento do clima) existem já há bastante tempo, mas geralmente as discussões ficavam em torno de alterações climáticas locais, possivelmente produzidas pelo homem em função da destruição de florestas, pela construção de grandes obras de infraestrutura, pelo desvio de cursos d'água, ou seja, basicamente em função das mudanças no uso e ocupação do solo, como relata Onça (2011). De acordo com esta autora (2011, p. 165) foi, porém, na segunda metade do século XIX que os debates em torno das mudanças climáticas induzidas pelas atividades humanas começaram a ceder lugar para as discussões em torno de mudanças de prazos mais longos, a saber, os recém descobertos ciclos glaciais e interglaciais que o planeta teria enfrentado ao longo de sua história. As explicações buscadas para esses ciclos baseavam-se no comportamento dos oceanos, nos parâmetros orbitais do planeta e na composição atmosférica.

A primeira conexão formulada entre os gases na atmosfera e o aumento da temperatura da Terra, segundo Oliveira (2010, p. 303), é creditada a Joseph Fourier, matemático e físico francês, em 1824. Já o pioneirismo em relação ao estudo do CO<sub>2</sub> ocorre antes, em 1753, quando o gás foi descoberto pelo físico e químico escocês Joseph Black.

Um estudioso marcante para o posterior desenvolvimento da teoria do aquecimento global foi John Tyndall. Segundo Fleming (1998, p. 67-71 *apud* ONÇA, 2011, p. 165, 166), em 1859, ele iniciou uma série de cuidadosos experimentos sobre a propriedade radiativa de vários gases, além de estudar a dispersão da luz pelos aerossóis (processo que ficaria conhecido como efeito Tyndall). Concluiu que os gases predominantes na atmosfera (oxigênio, nitrogênio e hidrogênio) eram quase transparentes à radiação, enquanto o vapor d'água, o dióxido de carbono, o ozônio e até mesmo perfumes eram os melhores absorvedores e que, mesmo em pequenas quantidades poderiam absorver mais energia que a própria atmosfera, sendo o vapor aquoso o maior exemplo. Postulou que, dentre os diferentes constituintes da atmosfera, o vapor d'água era o absorvedor mais forte de radiação infravermelha e, dessa forma, o mais importante controlador da temperatura da superfície do planeta, evitando que a radiação infravermelha escape para o espaço. Pelo que consta em sua obra, Tyndall acreditava que mudanças na composição atmosférica teriam produzido todas as mudanças climáticas em épocas passadas.

Quem alçou o gás carbônico ao papel de protagonista como regulador climático foi o químico suíço Svante August Arrhenius, em 1896, conforme sublinha Maruyama (2008, p.

15). Devido aos seus famosos estudos sobre o efeito do dióxido de carbono sobre o balanço radiativo terrestre, segundo Leroux (2005, p. 20) e Fleming (1998, p. 76, 81) (*apud* ONÇA, 2011, p. 166), Arrhenius ele é comumente considerado o “pai do efeito estufa antropogênico”. Seu mais famoso estudo nesse campo, intitulado *A influência do ácido carbônico do ar sobre a temperatura da superfície*, procurava mostrar que reduções da quantidade de dióxido de carbono atmosférico poderiam explicar o advento das glaciações. Seus cálculos o levaram à conclusão de que os períodos glaciais eram o resultado de níveis reduzidos de dióxido de carbono na atmosfera. Caso seus níveis dobrassem, a temperatura média da superfície terrestre seria elevada em 5 a 6°C, mas isso poderia levar vários séculos. Ele também declarou que o efeito seria maior no inverno do que no verão, sobre os continentes do que sobre os oceanos e seria máximo nas regiões polares. Ao contrário do negativismo com que se vê hoje o suposto aumento da temperatura global, Arrhenius encarou com otimismo essa possibilidade, indicando que seria possível desfrutar de um clima melhorado, e que boa parte do dióxido de carbono advindo da queima de combustíveis fósseis seria absorvido pelos oceanos.

Outro nome importante foi Thomas Chaberlin, influenciado por Arrhenius. Como ressalta Onça (2011, p. 168), ele procurou estabelecer, de forma mais complexa (ao invés de explicações monocausais), vínculos entre mudanças climáticas ocorridas em escalas geológicas e alterações na composição da atmosfera. Teorizou que a causa principal das mudanças climáticas é o diastrofismo, que ao elevar grandes porções de terra, pode modificar as correntes atmosféricas e oceânicas. Com a recorrente elevação de grandes porções de terra, porções maiores de rocha ficariam sujeitas à ação do intemperismo, consumindo dióxido de carbono atmosférico e conseqüentemente reduzindo suas concentrações. Com isso, haveria redução da temperatura do planeta, que por sua vez reduziria a quantidade de vapor d’água atmosférico e favoreceria, assim, o advento de um período glacial. Vale observar que, em sua teoria, o papel do vapor d’água está claramente subordinado ao do dióxido de carbono, sendo encarado como um mero mecanismo de realimentação, similarmente à visão adotada atualmente por diversos cientistas da Terra, especialmente pelo IPCC. Após um tempo, Chaberlin reconheceu essa inconveniência de sua teoria, assumindo ter supervalorizado o papel do CO<sub>2</sub>, como é revelado na carta abaixo, encaminhada a Charles Schuchert, do Yale’s Peabody Museum, em 1913.

Não tenho dúvidas de que o senhor possa estar correto em pensar que o número dos que aceitam a teoria do CO<sub>2</sub> é menor hoje do que há alguns anos atrás.

A sugestão original de Tyndall de que uma deficiência de CO<sub>2</sub> poderia ser a causa do período glacial recebeu pouca atenção e tanto parece ter sido quase esquecida que quando Arrhenius fez uma afirmação semelhante, ela pareceu nova e original para a maioria dos cientistas e, como ela parecia estar fundamentada em deduções matemáticas das observações de Langley e vir com alta autoridade, ela arrastou uma grande continuidade. Infelizmente, porém, as deduções de Arrhenius a partir das observações de Langley parecem ter sido incertas e quando isso foi descoberto a reação foi inevitável... Eu lamento muito ter estado entre as primeiras vítimas do erro de Arrhenius (CHAMBERLIN, 1913 apud FLEMING, 1998, p. 90 *apud* ONÇA, 2011, p. 169).

Já no ano de 1938, segundo Oliveira (2010, p. 303), o engenheiro inglês Stewart Callendar, dando continuidade aos trabalhos de Arrhenius, deu contribuições para o estabelecimento da teoria do aquecimento global. Conforme contextualiza Onça (2011, p. 172), em alguns locais do mundo constatava-se uma tendência de aquecimento e, nos Estados Unidos, na década de 30 (período após a Grande Depressão), ocorreu uma expressiva grande seca que atingiu o meio-oeste do país, com uma série de catástrofes ambientais. Nesse contexto, Callendar teria ressuscitado as proposições de Arrhenius. Afirmou que durante o último meio século aproximadamente, a queima de combustíveis fósseis havia lançado cerca de 150 bilhões de dióxido de carbono na atmosfera, dos quais três quartos ainda permaneciam ali, o equivalente a um aumento de 6% nas concentrações desse gás entre 1900 e 1936. Tal aumento poderia explicar, de acordo com seus cálculos, 60% da elevação da temperatura medida por estações meteorológicas para o período, 0,5°C por século. Em 1939, ele publicou um artigo sobre a variação da composição atmosférica ao longo dos períodos geológicos, defendendo também o protagonismo do dióxido de carbono na causa do efeito estufa. Em 1941, publicou revisão das bandas espectroscópicas de absorção do dióxido de carbono, o que causou significativo impacto. Muitos cientistas passaram então a considerar a absorção de energia pelo dióxido de carbono como sendo maior do que se pensava, o que demandou maiores pesquisas sobre o assunto. Ao longo das duas décadas seguintes, os artigos de Callendar ratificavam a relação entre o dióxido de carbono atmosférico e a temperatura do planeta, formando uma importante base para os pesquisadores seguintes.

Em 1956, um desses pesquisadores, Gilbert Plass, leitor de Callendar, manifestou sua clara convicção numa relação de causa e efeito entre a concentração de dióxido de carbono na atmosfera e a temperatura, conforme cita Onça:

Se, ao final deste século, as medições mostrarem que as quantidades de dióxido de carbono na atmosfera subiram apreciavelmente e ao mesmo tempo a temperatura continuou a subir pelo mundo, estará firmemente estabelecido que o dióxido de carbono é um importante fator causador de mudanças climáticas (PLASS, 1956 apud FLEMING, 1998, p. 122, *apud* ONÇA, 2011, p. 174).

Ainda de acordo com Fleming (1998, p. 124-125 *apud* ONÇA, 2011, p. 174), outro nome importante na afirmação da teoria do aquecimento global foi Roger Revelle. Em 1957, o geólogo publicou juntamente com Hans Suess seu famoso artigo na revista *Tellus* intitulado “*Carbon dioxide exchange between atmosphere and ocean and the question of an increase in atmospheric CO<sub>2</sub> during the past decades*”, onde teceu considerações e prognósticos a respeito do aumento da concentração de dióxido de carbono na atmosfera detectado por Callendar anteriormente. A partir daí, Revelle passaria a ser conhecido como o grande patriarca da teoria do aquecimento global.

O aumento da concentração de dióxido de carbono atmosférico constatado numa série de medições no Havaí passaria a representar um símbolo importante para afirmação da teoria do aquecimento global, conforme coloca Leite (2015, p. 647). Segundo Archer (2010) e Weart (2004) (*apud* Leite), graças à combinação do Ano Geofísico Internacional (1957-58) com uma disponibilidade de fundos de origem militar, Charles Keeling, trabalhando para o Instituto Scripps de Oceanografia, realizou medições precisas da concentração de dióxido de carbono no alto do cume do vulcão Mauna Loa, no Havaí, e na Antártida, constatando (entre 1958 e 1960) que a presença do gás na atmosfera estava crescendo. Na década seguinte, Keeling foi capaz de montar uma estação no Mauna Loa, tornando permanente o monitoramento dos níveis de CO<sub>2</sub> na atmosfera. primeiras medições do gás carbônico atmosférico no vulcão de Mauna Loa, no Havaí. O gráfico (17 - mostrado no Capítulo 5) que mostra a variação do CO<sub>2</sub> na atmosfera desde o início das medições, explica Oliveira (2010, p. 303), ficou conhecido como “Curva Keeling”, tornando-se referência para os estudos de monitoramento desse gás.

Ocorre que a teoria do aquecimento global, ao longo de todo esse tempo, não esteve em processo linear ou constante de ascensão. Entre as décadas de 60 e 70, a discussão sobre a possibilidade do aquecimento global cedeu lugar à possibilidade do resfriamento, com base na redução das temperaturas ocorridas naquele período. Embora há quem afirme que o medo do resfriamento global não passou de uma histeria restrita à mídia e uma lenda urbana, ele foi, sim, fundamentado pela academia (SOMERVILLE, 2007, p. 40-41 *apud* ONÇA, 2011, p.

177). Esse recuo das temperaturas começou a aparecer claramente nos registros a partir do final da década de 1950. Antes, desde o início da década de 1940, as muitas variações espaciais e temporais nas séries de dados dificultavam a constatação dessa tendência de resfriamento. Em janeiro de 1961, num encontro de meteorologistas em Nova York, o climatólogo J. Murray Mitchel abordou a detecção dessa nova tendência climática, e após ele outros cientistas também identificaram tendências de redução das temperaturas, o que forçou a um recuo do frenesi em torno do aquecimento global (WEART, 2003, p. 68-69 *apud* ONÇA).

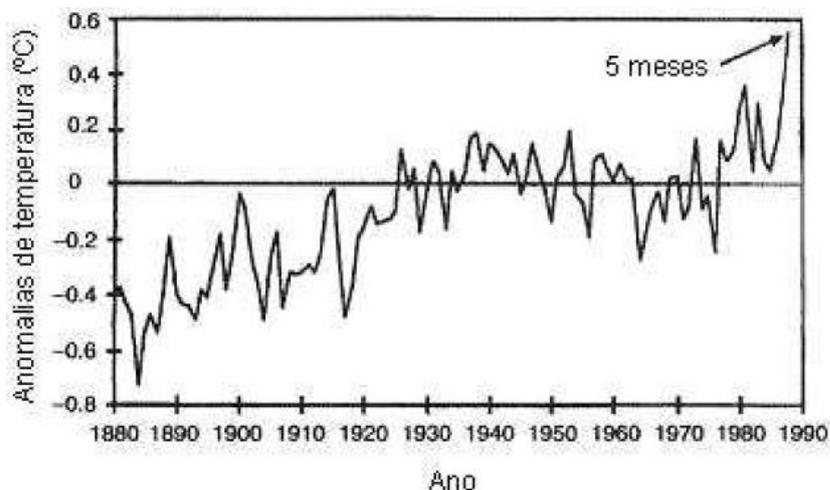
Em 1977, porém o discurso já estava revertido. A National Academy of Sciences empreendeu um estudo sobre as tendências climáticas dominantes. O relatório final não apenas considerava improvável um resfriamento global no longo prazo, como acreditava num aumento das temperaturas dentro de um ou dois séculos. Lançado no mês de Julho mais quente desde o Dust Bowl, ele ganhou grande destaque na mídia, apressando a mudança de opinião dos cientistas e do público em geral. Em 1976, por exemplo, a edição de 2 de agosto da revista *Business Week* explicou ambos os lados do debate, concluindo que a ideia dominante era a de tendência de resfriamento. Apenas um ano depois, em 8 de agosto, porém, a revista declarou que o dióxido de carbono “pode ser o maior problema ambiental do mundo, ameaçando elevar as temperaturas globais”, com terríveis consequências em longo prazo (Weart, 2003, p. 114-115 *apud* ONÇA, 2011, p. 179).

Até a data de criação do IPCC (1988), importantes conferências internacionais de caráter científico e político ocorreram, elevando o status da teoria do aquecimento global. Em 1972 se deu a primeira conferência para as Nações Unidas para o meio ambiente, sediada em Estocolmo, capítulo relevante para a construção das políticas climáticas, com a criação do PNUMA (Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente), e sua articulação com a OMM (Organização Meteorológica Mundial). Em 1979 ocorreu a primeira conferência climática mundial, convocada pela OMM, com o objetivo de avaliar as relações entre o clima e as atividades humanas. Ainda não estava formalmente estabelecido que o homem pudesse ser um elemento das mudanças climáticas. Na Conferência de Villach (Áustria), em 1980, primeiro encontro internacional de especialistas sobre a atuação do dióxido de carbono na variabilidade climática, concluiu-se que as incertezas envolvidas eram muito grandes e deveria ser dada prioridade ao estabelecimento de um embasamento científico sólido em relação ao problema. Já na Segunda Conferência de Villach (1985), considera-se que o efeito

estufa antropogenico é um fato estabelecido, concluindo-se que o efeito estufa será a causa mais importante das mudanças climáticas no próximo século; a temperatura do planeta poderá aumentar entre 1,5 e 4,5°C caso dobrem as concentrações atmosféricas de dióxido de carbono, fato previsto para o ano de 2030; o nível do mar poderá subir entre 20 e 140 centímetros; o aquecimento será mais pronunciado nas latitudes altas e as mudanças climáticas terão profundos efeitos em escala global sobre ecossistemas, agricultura, recursos hídricos e gelo marinho. Tres anos depois, na Conferencia Global sobre Mudanças Atmosféricas: implicações para a segurança global, mais conhecida como Conferência de Toronto (1988), concluiu-se que as emissões atmosféricas antropogênicas já estavam causando danos e deveriam ser enfrentadas sem demora. Assim, a Conferência de Toronto, seguindo o Protocolo de Montreal, foi a primeira a estabelecer metas específicas de reduções de gases estufa: para o ano de 2005 ficou estabelecido que as emissões deveriam ser reduzidas em 20% em relação aos níveis de 1988 (LINO, 2010, p. 58-59; LEROUX, 2005, p. 30 e 32 apud ONÇA, p. 178-181).

Vale ressaltar que no ano de 1988 diversos eventos climáticos extremos colaboraram para que ganhasse mais força a ideia da interferência humana no aquecimento do planeta. O verão desse ano foi terrivelmente seco. As colheitas decaíram de forma tão avassaladora no meio-oeste dos Estados Unidos, que o gado teve de ser sacrificado por falta de alimentos. Os ventos varriam as camadas superficiais do solo seco para o horízote. O níveis do rio Mississippi se reduziram drasticamente e incêndios florestais arruinaram milhões de acres no oeste. A então União Soviética e a China foram abaladas pela seca, enquanto chuvas torrenciais assolaram partes da África, Índia e Bangladesh, país que, em determinado momento, teve três quartos de seu território debaixo d'água (LINDSEN 1992, p. 91-92; PHILANDER, 1998, p. 191 *apud* ONÇA, 2011 p. 183. Para Schneider (1989, p. 203 *apud* ONÇA, 2011, p. 184), “Em 1988 a natureza fez mais pela notoriedade do aquecimento global em 15 semanas do que qualquer um de nós ou jornalistas e políticos simpáticos à causa foram capazes de fazer nos 15 anos anteriores”. Ainda nesse ano, James Jansen, diretor do GISS (Instituto Goddard de Estudos Espaciais), afirmou que tinha 99% de certeza de que as temperaturas haviam aumentado e que existia um aquecimento global, declaração essa que recebeu grande atenção da mídia. A seguir (gráfico 11) está o gráfico apresentado por Hansen para provar sua hipótese. Não se pode deixar de indicar uma falha (apontada pela seta) cometida na construção do gráfico, que compara médias anuais de temperatura com um período de apenas 5 meses para o ano de 1988.

Gráfico 11 - Curva de temperatura apresentada por James Hansen em 23 de junho de 1988, que mistura médias anuais com uma média de cinco meses para o ano de 1988.



Fonte: MICHAELS, 1992 apud LEROUX, 2005, p. 35 apud ONÇA, p. 184

Antes do final do ano de 1988, a quadragésima seção da OMM criou, juntamente com o PNUMA, o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), reconhecendo formalmente a ameaça do aquecimento global. Naquele ano foram sugeridos quatro grandes grupos de função para o IPCC: (1) identificação das incertezas ou áreas de pouco conhecimento sobre as mudanças climáticas e seus efeitos; (2) a produção de informações adequadas para a construção de soluções políticas. (3) revisão crítica das políticas nacionais e internacionais já existentes para o controle de GHG's; (4) produção e disseminação de relatórios de avaliação com informações sobre a questão climática. Ainda em 1988 ocorreu a primeira plenária geral do IPCC, quando foram definidos o presidente, vice presidente e relator. Além disso, ficou definido que um Bureau seria criado para coordenar as atividades do IPCC. Estabeleceu-se que os relatórios de avaliação seriam produzidos por três grandes grupos de trabalho: o Grupo de Trabalho I, que se encarrega de examinar as bases científicas das mudanças climáticas; o Grupo de Trabalho II, que estuda os impactos, adaptação e a vulnerabilidade; e o Grupo de Trabalho III, que aborda medidas de mitigação para as mudanças climáticas (SCHLEICHER 2006, p. 66-67; ONÇA, 2011, p. 184).

Em 1989, relata Schleicher (2006, p. 67), a 44ª seção da Assembléia Geral das Nações Unidas requisitou ao IPCC um relatório (First Assessment Report, publicado em 1990) que serviria de ponto de partida para a Conferência das Nações Unidas para Meio Ambiente e Desenvolvimento, também conhecida como Rio 92 ou Cúpula da Terra, em 1992. Desde então, os três Grupos de Trabalho e instituições auxiliares do IPCC tem trabalhado na produção de relatórios de avaliação, documentos técnicos e especiais, desenvolvimento de metodologias e organização de workshops. A Rio 92, é preciso destacar, foi uma convenção

emblemática, como expõe Onça (2011, p. 186), uma vez que: reafirmou a realidade do aquecimento global antropogênico; clamou pela necessidade de estabilização dos gases estufa, buscando conter os danos ao sistema climático: enfatizou que a falta de plenas certezas científicas não deve ser usada como pretexto para adiar a adoção de medidas para prever, prevenir ou atenuar as causas das mudanças climáticas e restringir os efeitos perigosos. Dessa forma, foi institucionalizado o famoso princípio da precaução<sup>4</sup>:

De modo a proteger o meio ambiente, o princípio da precaução deve ser amplamente observado pelos Estados, de acordo com suas capacidades. Quando houver ameaça de danos sérios ou irreversíveis, a ausência de absoluta certeza científica não deve ser utilizada como razão para postergar medidas eficazes e economicamente viáveis para prevenir a degradação ambiental (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE [s.d.] princípio 15 apud BARBIERI, 2013, p. 542).

Na Rio 92 foi criada a CQNUMC (Convenção Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima. A partir de 1995, os países membros dessa Convenção passaram a realizar anualmente a Conferência das Partes (COP), como coloca OLIVEIRA (2010, p. 304), sendo a terceira edição destas reuniões (COP-3) a mais notória, realizada em 1997 na cidade Japonesa de Quioto, a qual deu nome ao conhecido Protocolo de Quioto, constituindo-se na primeira iniciativa global com metas quantitativas de redução das emissões ou captura (“sequestro de carbono”) dos GEE (gases de efeito estufa). Desde então, tem sido debatidas nas Conferências das Partes os meios pelos quais serão atingidas as metas adotadas, discutindo-se os Mecanismos de Flexibilização, tais como:

- CIE (Comércio Internacional de Emissões) – estabelece um mercado de compra e venda do direito de emitir GEEs, de compra e venda de créditos de carbono. Permite a comercialização do excedente da emissão de GEEs reduzido em relação à meta. Assim, os países que possuem metas obrigatórias de redução de emissões de GEEs (países do Anexo I), podem comercializar o excesso de suas reduções com aqueles países (também do Anexo I) que não atingiram suas metas (ou seja, que a excederam), para que consigam atingir. Esse mecanismo diz respeito apenas aos países do Anexo I, que são países desenvolvidos.

---

<sup>4</sup> O princípio da precaução, como será visto mais à frente, possui diversas formulações. O apresentado aqui, referente à Rio 92, é uma das versões.

- IC (Implementação Conjunta) – mecanismo análogo ao MDL, mas com a distinção de incentivar projetos de redução ou captura de GEEs em países do Anexo I. Aplica-se também apenas aos países do Anexo I.
- MDL (Mecanismo de Desenvolvimento Limpo) – incentiva os países que não possuem metas (não Anexo I) a desenvolver projetos de redução e/ou captura de GEEs em troca do recebimento de RCE (Redução Certificada de Emissões) ou créditos de carbono dos países do Anexo I, para que estes cumpram suas metas. Os créditos podem ser negociados e vendidos no mercado financeiro, no chamado “Mercado do Carbono”.
- REED (Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação) – mecanismo que visa recompensar financeiramente países em desenvolvimento por seus resultados de redução de emissões de GEEs provenientes do desmatamento e da degradação florestal. Leva em consideração também a conservação de estoques de carbono florestal, o manejo sustentável de florestas e aumento dos estoques de carbono florestal (OLIVEIRA, 2010, p. 305; MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2007, 2016).

Um capítulo marcante da história da teoria do aquecimento global ocorreu em 2006, tendo como protagonista o político norte-americano Al Gore. Ele estrelou o documentário “An Inconvenient Truth” (“Uma Verdade Inconveniente”), produzido com o objetivo de comunicar ao mundo, em tom de alerta, as mudanças climáticas que estariam ocorrendo em função das atividades antrópicas de queima de combustíveis fósseis e emissão de GEEs, que estariam alterando a composição da “fina” atmosfera. No documentário, Al Gore, de forma reducionista e precária, promove uma ligação direta entre o aumento da concentração de dióxido de carbono na atmosfera e o aumento da temperatura média global (aquecimento global), colocando o primeiro como causa clara do segundo. Como relata Maruyama (2008, p. 10), embora a questão do aquecimento global fosse discutida há tempos, o sentimento de real perigo parece ter sido subitamente despertado pelo documentário, que alçou a teoria a um patamar de aparente verdade absoluta. Por seu feito, Al Gore ganhou o Prêmio Nobel da Paz em 2007, juntamente com o IPCC, que publicou seu quarto relatório (Fourth Assessment Report - AR 4) no mesmo ano, com uma conclusão assertiva, afirmando a ocorrência do aquecimento global e a contribuição significativa e efetiva do ser humano nesse aquecimento.

Como expõe Barbieri (2013, p. 529), somente no quarto relatório o IPCC afirma que o aquecimento do sistema climático é inequívoco, colocando como evidências o aumento da

temperatura média do ar e do oceano, o derretimento generalizado de neves e gelos e o aumento médio do nível do mar. A causa desse aquecimento anormal seria o aumento das emissões de GEEs advindos das atividades antrópicas, principalmente de CO<sub>2</sub>, (responsável por 70% das emissões totais de GEEs), CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O. O relatório síntese do IPCC (AR4-síntese) informa que houve uma tendência linear de aumento da temperatura de 0,7°C [entre 0,56 a 0,92°C] de 1906 a 2005, e que foi superior ao verificado por ocasião do terceiro relatório, publicado em 2001. O IPCC apresenta os efeitos da mudança classificando-os com base no grau de confiança obtido pelas análises de numerosos estudos sobre as tendências observadas no meio físico e biológico. Os graus de confiança vão desde o muito alto, que significa uma exatidão das afirmações de 90%, até um muito baixo com uma exatidão inferior a 10%.

Um após o outro, os relatórios foram afirmando cada vez mais o aquecimento global como consequência das emissões antropogênicas de gases de efeito estufa, assinalando o aumento do grau de confiança. O primeiro relatório do IPCC (Fifth Assessment Report – FAR) foi publicado em 1990, estabelecendo as bases científicas para a discussão do aquecimento global. Depois foram lançados outros quatro relatórios: o Second Assessment Report (SAR) em 1995; o Third Assessment Report (TAR) em 2001; Fourth Assessment Report (AR4) em 2007; e o Fifth Assessment Report (AR5) em 2013/2014. O Sixth Assessment Report, segundo previsão do próprio IPCC, deve ser finalizado em 2022 (ONÇA, 2011, p. 186; IPCC, 2017).

O último relatório do Grupo de Trabalho I do IPCC (sobre as bases científicas do aquecimento global), publicado em 2013, traz a seguinte conclusão no *Summary for Policymakers* (Sumário para Tomadores de Decisão):

O aquecimento do sistema climático é inequívoco e, desde a década de 1950, muitas das mudanças observadas são sem precedentes desde décadas até milênios atrás. A atmosfera e o oceano se aqueceram, as quantidades de gelo e neve diminuíram, o nível do mar se elevou, e as concentrações de gases de efeito estufa aumentaram (IPCC, 2013, p. 4).

## 5. AVALIAÇÃO CRÍTICA DA TEORIA DO AQUECIMENTO GLOBAL

### 5.1 Aspectos epistemológicos

#### 5.1.1 Efeito estufa

Conforme já está claro, a hipótese do efeito estufa, empregada para explicar o fato de a Terra manter uma temperatura média superficial de 14°C, é o grande esteio da teoria do aquecimento global, sendo um pressuposto fundamental. O IPCC (2007, p. 96, 97 *apud* ONÇA, 2011, p. 73), concebe o efeito estufa como causado pela presença, na atmosfera, de gases que bloqueiam parte da radiação de onda longa que escaparia para o espaço. Os dois gases dominantes da atmosfera, o nitrogênio e o oxigênio, não atuam nesse sentido, mas sim gases presentes em menor quantidade, dos quais os mais importantes seriam o vapor d'água e o dióxido de carbono, este eleito como o grande vilão das mudanças climáticas supostamente em andamento. O que o dióxido de carbono decorrente das emissões antrópicas estaria provocando é, em suma, a intensificação do efeito estufa. Nesse sentido, uma problematização da maneira pela qual se dá o efeito estufa pode trazer sérias consequências para que a teoria do aquecimento global se sustente. E, de fato, há aqueles que possuem compreensões diferentes acerca do fenômeno.

Essex e McKittrick (2007, p. 125, 126, 127 *apud* ONÇA, 2011, p. 268, 269) criticam fortemente a utilização descuidada de metáforas para explicação dos processos físicos. Segundo eles, a metáfora do efeito estufa, com afirmação da ideia de que a atmosfera atua como uma estufa de plantas, que seria transparente à radiação ultravioleta e opaca à radiação infravermelha, é pernicioso para a compreensão do clima, e está tão firmemente arraigada na mente das pessoas, inclusive de cientistas, que parece virtualmente impossível removê-la. Ainda assim, é necessário tentar, colocam, pois ela é parte essencial do que chamam de doutrina global warmer (doutrina aquecimentista). Conforme esclarecem, as estufas não funcionam de acordo com a hipótese do efeito estufa. Em verdade, as temperaturas mais elevadas no interior de uma estufa são decorrentes da cobertura da estufa, mas sua atuação consiste mais em minimizar o movimento do ar do que bloquear a saída de radiação termal. A função da estufa é bloquear a perda de energia por dinâmica de fluidos. Quando o fluxo de ar

é cortado, o fluxo de energia já não está em balanço, o que se refletirá numa elevação da temperatura.

Na mesma linha de raciocínio, Felício (2011, p. 1226) explica que as estufas são edificações geralmente feitas de vidro para o cultivo de plantas em geral, permitindo a entrada abundante de luz solar, visando criar um ambiente favorável ao desenvolvimento vegetal. Assim, a superfície plantada vai se aquecendo na medida em que vai absorvendo a radiação do Sol (ultravioleta). O vidro, que compõe a cobertura de uma estufa, é um material que permite a passagem da radiação ultravioleta, mas é capaz de absorver radiação infravermelha (alguns tipos de vidro não possuem uma absorção tão significativa). Há um entendimento disseminado de que a radiação infravermelha emitida pela superfície da estufa é absorvida pelo vidro e, depois, reemitida por este para a estufa, sendo responsável por promover o seu aquecimento. Mas, prossegue o autor, há uma supervalorização dessa reemissão por parte do vidro. A estufa fica aquecida, não devido a essa reemissão, mas sim porque sua cobertura (independentemente do material) constitui uma barreira física, material, ao deslocamento do ar aquecido, que não consegue atravessar as paredes. Ou seja o movimento convectivo de deslocamento do ar aquecido é interrompido.

Figura 8 - Esquerda: como as estufas efetivamente funcionam (resultados certos). Direita: o suposto efeito estufa, o que realmente ocorre na Terra (resultados incertos)



Fonte: ESSEX ; MCKITRICK (2007, p. 126 *apud* ONÇA, 2011, p. 269)

Felício (2011, p. 1226) chama a atenção para o fato de que, atualmente, há uma supervalorização das transmissões de calor por radiação, sugerindo que há certa negligência em relação ao tratamento termodinâmico da atmosfera. Ele relembra que a energia é transferida entre os corpos de três formas: condução, convecção e radiação. A condução é mais eficiente entre corpos sólidos. A radiação ocorre tanto entre fluidos quanto sólidos, desde que haja um certo grau de transparência, e prescinde de meio material para sua ocorrência. Porém

entre fluidos, que é o caso da atmosfera, ou entre superfícies sólidas e fluidos, o modo mais eficiente para se transferir energia é a convecção, ou seja, o transporte de massas fluidas com diferentes densidades entre setores do espaço que estejam se resfriando ou se aquecendo. No processo convectivo, vale ressaltar, conforme Kreith (1973 apud OLIVEIRA, 2010, p. 21), ocorre transporte de energia pela ação combinada da condução de calor, do armazenamento de energia e do movimento de mistura.

O que ocorre de fato, expõe Felício (2011, p. 1225, 1226) é que a atmosfera absorve pouca radiação do Sol. Grande parte dessa radiação ultravioleta atinge a superfície, sendo absorvida e promovendo aquecimento. Uma vez aquecida, a superfície cede calor para a atmosfera, influenciando o movimento do ar a depender de uma série de fatores. Movimentos verticais de pequena escala, como explica Ayoade (1996, p. 73, 74, 78, 79), são geralmente induzidos diretamente pela superfície da Terra e sua continuação é grandemente dependente da estrutura térmica e da umidade sobre ela. Por outro lado, o movimento vertical em larga escala, de ascensão ou descida do ar, ocorre basicamente em resposta a fatores dinâmicos, que estão relacionados ao fluxo horizontal, sendo afetado somente de modo secundário pela estabilidade da massa de ar. Já o movimento horizontal do ar tem como causa primordial o desenvolvimento de um gradiente de pressão horizontal, que faz o ar se mover de áreas de alta pressão para áreas de baixa pressão. Ele é criado por fatores térmicos e/ou mecânicos, nem sempre distinguíveis, e sua força é inversamente proporcional à densidade do ar.

No planeta, diferentemente da estufa, destacam Essex e McKittrick (2007, p. 127, *apud* ONÇA, 2011, p. 269), o que é bloqueado pelos gases é a perda de energia por radiação, enquanto a dinâmica de fluidos (circulação atmosférica e oceânica) permanece. Essa dinâmica é extremamente turbulenta e não se sabe sua reação diante da injeção de energia. O que se sabe, é que para aumentar a saída de energia da superfície por dinâmica de fluidos não é necessária uma elevação da temperatura. As taxas de fluxos não são simplesmente governadas por variáveis como temperatura, pressão e umidade, mas sim por gradientes e diferenças nas variáveis termodinâmicas. Ainda assim, como se não bastasse, a dinâmica de fluidos adiciona aerossóis e vapor d'água à atmosfera, que afetarão significativamente a radiação termal e a própria chegada de radiação solar à superfície, através da atuação das nuvens.

Quando descrevemos a atmosfera como uma estufa, estamos suprimindo as incertezas inerentes à dinâmica de fluidos e atribuindo-lhe a certeza da elevação das temperaturas. Acreditamos que as temperaturas devem subir quando adicionamos gases estufa à atmosfera pelo simples fato de que as estufas são quentes, e não

entendemos porque a Climatologia perde tanto tempo tentando diagnosticar o aquecimento e suas causas, já que ele é tão certo e simples de explicar! (Essex e McKitric 2007, p. 128 *apud* ONÇA, 2011, p. 270).

### 5.1.2. Aumento da Temperatura Média Global e a Interferência Antrópica

A temperatura, parâmetro protagonista na teoria do aquecimento global, é definida por Emiliani (1987 *apud* OLIVEIRA, 2010, p. 18) como sendo o nível da energia cinética interna de um sistema ou de um corpo, resultante da movimentação de seus constituintes atômicos e moleculares. Ao conceito de temperatura está associado intrinsecamente o conceito de calor. O calor, explicita Ayoade (1996, p. 50), desloca-se de um corpo com temperatura mais elevada para um corpo com temperatura mais baixa. A temperatura de um corpo é determinada pelo balanço entre a radiação que chega e a que sai e pela sua transformação em calor latente e sensível. Para fins práticos, a temperatura é o grau de calor medido por um instrumento, seja um termômetro, imerso no fluido atmosférico, seja um satélite, obtendo informações remotamente. De início, serão abordadas aqui as medições de temperatura de estações meteorológicas por meio de termômetro. É sobre elas principalmente que se assentam as conclusões do IPCC.

De acordo com o IPCC (Fifth Assessment Report, 2013, p. 37), é certo que a temperatura média global da superfície terrestre aumentou desde o final do século XIX. As últimas três décadas foram, uma após a outra, cada vez mais quentes do que as décadas anteriores no registro instrumental, sendo que a década de 2000 foi a mais quente. Os dados combinados globais de temperatura superficial terrestre e oceânica calculados por uma tendência linear mostram um aquecimento de 0,85 [0,65 a 1,06] °C, durante o período de 1880-2012, considerando a existência de vários conjuntos de dados produzidos

---

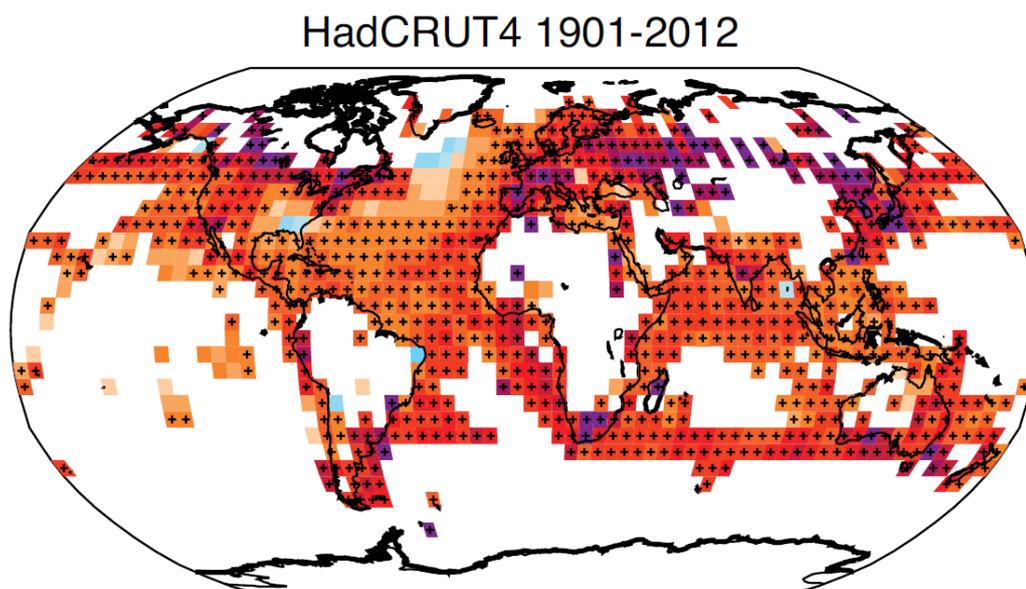
<sup>5</sup> O aquecimento é relatado como uma média não ponderada com base em estimativas de tendência linear calculadas a partir dos conjuntos de dados Hadley Center/Climatic Research Unit gridded surface temperature data set 4 (HadCRUT4), Merged Land–Ocean Surface Temperature Analysis (MLOST) e Goddard Institute for Space Studies Surface Temperature Analysis (GISTEMP).

HadCRUT4 - é um conjunto de dados em grade de anomalias históricas globais da temperatura de superfície em relação a um período de referência de 1961-1990. Os dados estão disponíveis para cada mês desde janeiro de 1850, em uma grade de 5 graus. O conjunto de dados é um produto colaborativo do Met Office Hadley Center e da Unidade de Pesquisa Climática da Universidade de East Anglia.  
<https://www.metoffice.gov.uk/hadobs/hadcrut4/>

MLOST - é um conjunto de dados de temperatura da superfície global em grade (5° x 5°), com resolução mensal de janeiro de 1880 até o presente. Mescla dados de temperatura de superfície do mar da base de dados ERSST

independentemente, cerca de 0,89 [0,69 a 1,08] °C durante o período 1901-2012, e cerca de 0,72 [0,49 a 0,89] °C durante o período de 1951 a 2012, com base em três conjuntos de dados produzidos independentemente. O aumento total entre a média do período de 1850-1900 e o período de 2003-2012 é de 0,78 [0,72 a 0,85] °C, com base no conjunto de dados de temperatura de superfície do Hadley Center/Climatic Research Unit 4 (HadCRUT4), o conjunto de dados de temperatura média global de superfície com o registro mais longo entre os três conjuntos de dados produzidos de forma independente. O aquecimento de 1850-1900 a 1986-2005 é de 0,61 [0,55 a 0,67] °C, quando calculado usando o HadCRUT4 e suas estimativas de incerteza. Ainda conforme o IPCC, é praticamente certo que as temperaturas máximas e mínimas por terra aumentaram em escala global desde 1950. A seguir, na Figura 9 e no Gráfico 12 são mostradas as informações para os três conjuntos de dados.

Figura 9 - Mudança na temperatura superficial de 1901-2012 para três conjuntos de dados



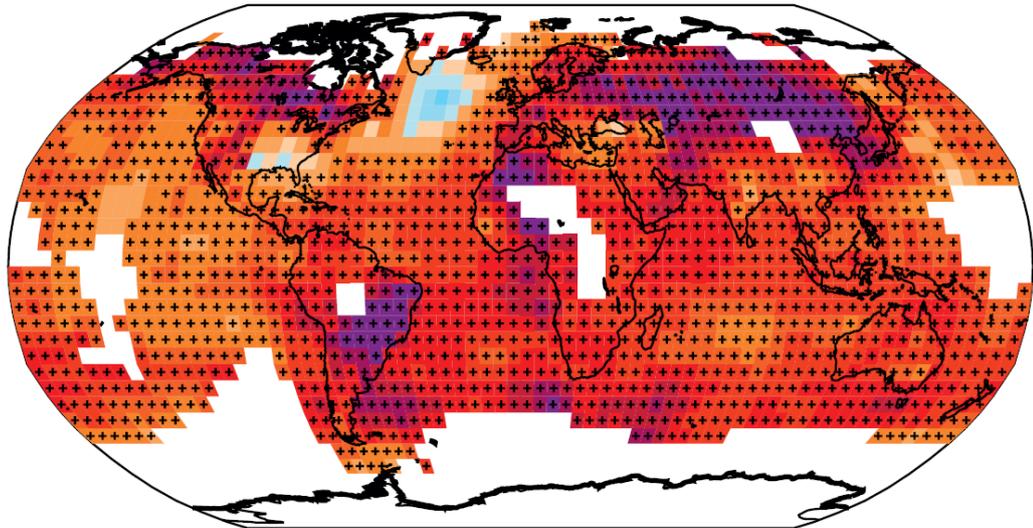
---

(Extended Reconstructed Sea Surface Temperature), com dados de superfície em terra da base de dados GHCN (Global Historical Climatology Network).

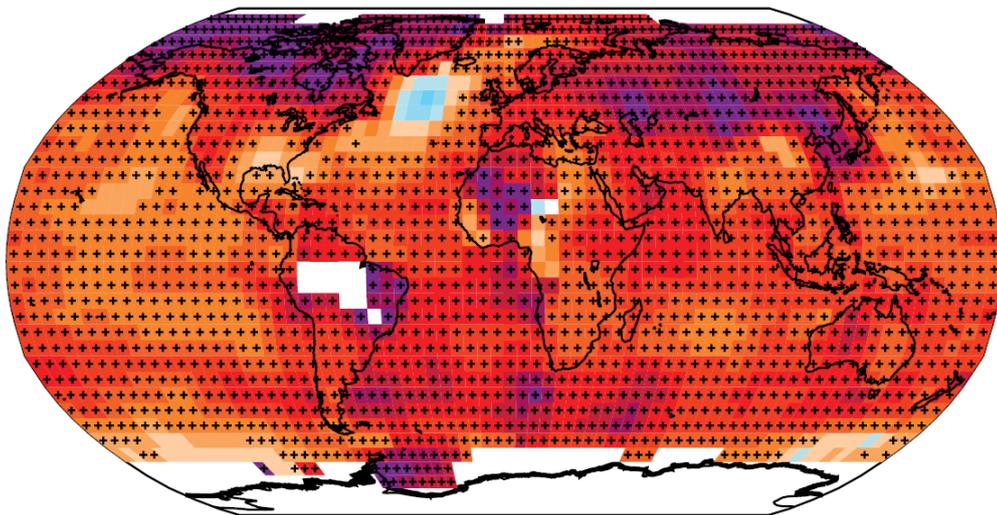
<https://www.ncdc.noaa.gov/data-access/marineocean-data/mlost>

GISTEMP – é um conjunto de dados de temperatura da superfície global gerado pela Goddard Institute for Space Studies, pertencente a NASA (National Aeronautics and Space Administration). Utiliza dados da GHCN (Global Historical Climatology Network).

MLOST 1901-2012



GISS 1901-2012

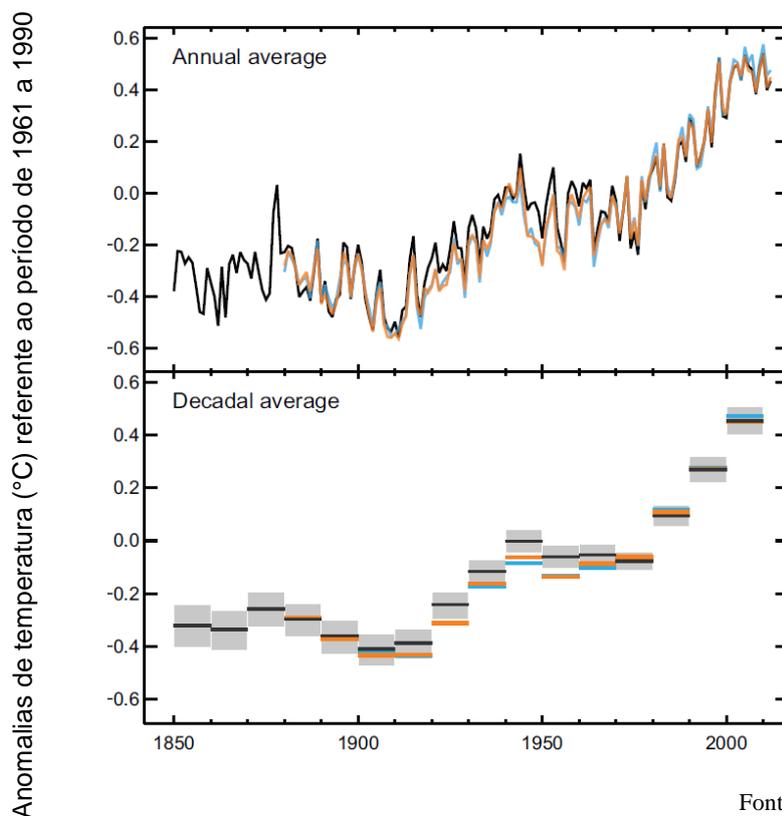


Tendência (°C durante o período)

Fonte: IPCC (2013, p. 39)

As áreas brancas indicam dados incompletos ou ausentes. As tendências foram calculadas apenas para aquelas células com registros completos superiores a 70% e mais de 20% de disponibilidade de dados nos primeiros e últimos 10% do período de tempo (IPCC, 2013, p. 39, tradução nossa).

Gráfico 12 - Anomalias de temperaturas médias globais combinadas de superfície terrestre e oceânica de 1850 a 2012, de três conjuntos de dados



Fonte: IPCC (2013, p. 6)

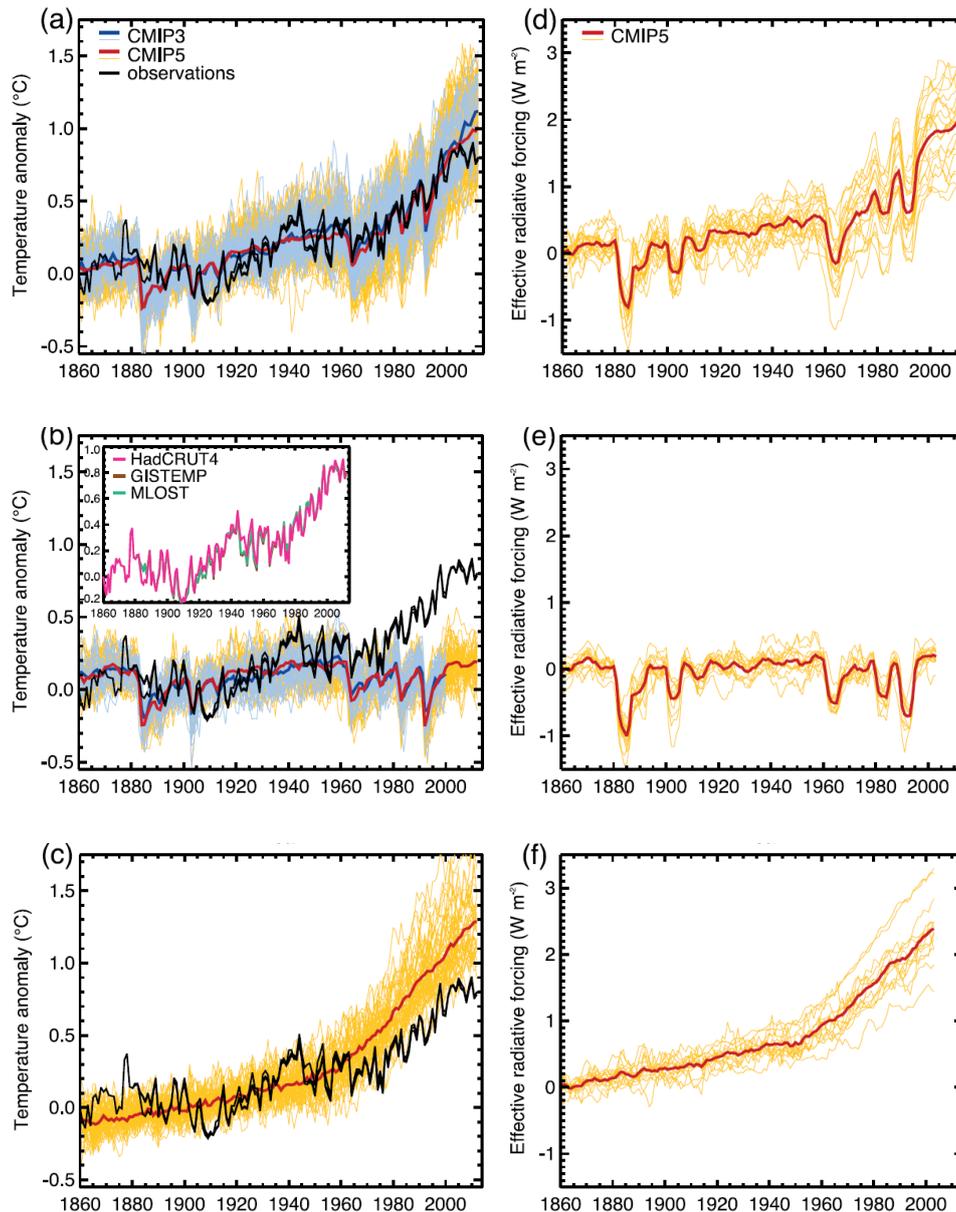
Painel superior: valores médios anuais. Painel inferior: valores médios decadais, incluindo a estimativa de incerteza para um conjunto de dados (preto). As anomalias são colocadas em relação à média do período 1961-1990, onde se observa uma tendência de elevação das temperaturas.

Em princípio, os dados expostos acima poderiam ser empregados na detecção<sup>6</sup> da mudança climática, ou seja, como indicativo de que um aquecimento global está ocorrendo. Mas como seria possível atribuir<sup>7</sup> o aquecimento supostamente anômalo observado à influência humana? Essa asserção é feita pelo IPCC recorrendo-se aos Modelos de Clima Global (assunto tratado mais à frente nesta mesma seção). Para o Painel (2007, p. 684 apud ONÇA, 2010, p. 230), o fato de que os modelos climáticos só são capazes de reproduzir as mudanças globais de temperatura observadas ao longo do século XX quando eles incluem forçamentos antropogênicos (não bastam os forçamentos naturais) é evidência da influência humana sobre o clima global. Isso fica mais claro no Gráfico 13 a seguir.

<sup>6</sup> A detecção da mudança é definida como o processo de demonstrar que o clima ou um sistema afetado pelo clima mudou em algum sentido estatístico definido, sem fornecer uma razão para essa mudança. Uma mudança identificada é detectada nas observações se a probabilidade de ocorrência devido à variabilidade interna sozinha é determinada como pequena (Hegerl et al., 2010 apud IPCC, 2013, p. 872)

<sup>7</sup> A atribuição é definida como o processo de avaliação das contribuições relativas de múltiplos fatores causais para uma mudança ou evento com uma atribuição de confiança estatística. Sendo assim, a atribuição é mais complexa do que a detecção, combinando análise estatística com compreensão física (Allen et al., 2006; Hegerl e Zwiers, 2011 apud IPCC, 2013, p. 872).

Gráfico 13 – Temperaturas observadas comparadas com temperaturas simuladas pelos modelos



(Coluna da esquerda): três estimativas observacionais da temperatura média global da superfície (GMST, linhas negras) do conjunto de dados da temperatura superficial HadCRUT4, GISTEMP e MLOST, em comparação com simulações de modelo [modelos CMIP3 - linhas finas de azul e modelos CMIP5 - linhas amarelas finas] com forçamentos antropogênicos e naturais (a), forçamentos naturais apenas (b) e forçamento por gases de efeito estufa (GEE) apenas (c). As linhas vermelhas e azuis grossas são médias em todas as simulações CMIP5 e CMIP3 disponíveis, respectivamente. As simulações CMIP3 não estavam disponíveis para GEE forçando apenas (c). Todos os dados simulados e observados foram mascarados usando a cobertura HadCRUT4 (como este conjunto de dados tem a cobertura espacial mais restrita), e as anomalias médias globais são mostradas em relação a 1880-1919, onde todos os dados são primeiro calculados como anomalias relativas a 1961-1990 em cada caixa de grade. A caixa menor em (b) mostra os três conjuntos de dados observacionais distinguidos por cores diferentes. (Adaptado de Jones et al., 2013). (Coluna da direita): Forçamento ajustado líquido em modelos CMIP5 devido a forçamentos antropogênicos e naturais (d), forçamentos naturais apenas (e) e somente GEEs (f). (De Forster et al., 2013). Os membros individuais do conjunto são mostrados por linhas amarelas finas, e as médias dos modelos CMIP5 são mostrados como linhas vermelhas espessas (IPCC, 2013, p. 879, tradução nossa).

Conforme se observa o Gráfico 13, em “(a)”, as curvas geradas pelos modelos de clima (curvas vermelha e azul), englobando estimativas de forçamentos naturais e

antropogênicos, aproximam-se mais da curva preta (curva gerada pelos dados de temperatura registrada) do que em “(b)”, onde os modelos só levam em consideração os forçamentos naturais. Para tomar esse fato como evidencia da influência humana no clima global é necessário pressupor uma série de coisas, dentre elas que os dados gerados por meio dos registros de temperatura sejam confiáveis e possam significar, de fato, respostas à alterações no macroclima. Neste sentido, antes de mais nada, parece ser necessário colocar o óbvio: existem erros envolvidos<sup>8</sup> na obtenção dos dados de temperatura. E, para além dos erros de medições em si, imprecisões vão sendo incorporadas ao longo do extenso processo de tratamento dos registros que permite, no final, a obtenção de uma anomalia<sup>9</sup> média de temperatura global. Tratemos então sobre esse processo.

Tudo começa com os valores de temperatura medidos<sup>10</sup> ao longo de um dia, que dão origem a uma temperatura média diária. Esta é definida pela Organização Meteorológica Mundial (WMO, 1983 *apud* OLIVEIRA, 2010, p. 121) como a “média da temperatura observada 24 vezes em intervalos de tempo equidistantes ao longo de um intervalo contínuo de 24 horas, ou uma combinação de temperaturas observadas em quantidade de vezes menos numerosas, organizada de modo a diferir o menos possível da média acima definida”. Esta definição é traduzida matematicamente pela Expressão 4 a seguir:

**Expressão 4 – Fórmula de temperatura média para 24 horas com 24 observações**

$$T = \frac{1}{24} \sum_{i=1}^{24} T_i = \frac{1}{24} (T_1 + T_2 + T_3 + \dots + T_{24})$$

Fonte: WMO (1983 *apud* OLIVEIRA, 2010, p. 121)

Em verdade, quanto maior a frequência das observações mais precisa será a média, de modo que Trewin (*apud* OLIVEIRA, 2010, p. 121) define a temperatura média diária verdadeira como a integral da temperatura durante 24 horas, dividida pela unidade de tempo

---

<sup>8</sup> Aliás, como bem coloca Benedict (1984 *apud* OLIVEIRA, 2011, p. 19) “se há alguma premissa básica para medições de qualquer propriedade é essa: não existe nenhuma medida que não esteja associada a um erro, uma vez que nem o valor exato da propriedade medida nem o valor exato do erro associado à medida podem ser determinados”.

<sup>9</sup> O termo anomalia de temperatura significa um desvio de um valor de referência ou de uma média de longo prazo (que são as normais climatológicas – 30 anos). Uma anomalia positiva indica que a temperatura observada era mais quente do que o valor de referência, enquanto que uma anomalia negativa indica que a temperatura observada era mais fria que o valor de referência (NCDC – NOAA, 2017)

<sup>10</sup> Para as medições de temperatura e utilização nos procedimentos de cálculo das normais, a norma WCPD N. 10 (WMO, 1989 *apud* OLIVEIRA, 2011, p. 124) recomenda a adoção da temperatura na escala de graus Celsius e valores com precisão na casa decimal (ou seja, 0,1° C).

utilizado. Expresso em termos matemáticos, segundo Dall’amico e Hornsteiner (2006 *apud* OLIVEIRA, 2010, p. 22), à altura padronizada de 2 metros acima do nível do solo, a temperatura média diária verdadeira ( $T_v$ ) é dada pela seguinte equação (Expressão 5):

**Expressão 5 – Temperatura média diária verdadeira**

$$T_v = \frac{1}{24h} \int_{24h} T dt$$

Fonte: Dall’amico e Hornsteiner (2006 *apud* OLIVEIRA, 2010, p. 122)

Esta é a melhor aproximação estatística de uma média diária, conforme relata Oliveira (2010, p. 122), baseada na integração das observações contínuas durante um dia. O problema é que observações contínuas, em número tão elevado de vezes, considerando leituras manuais (feitas por uma pessoa), não são viáveis na prática. Estações meteorológicas automáticas de medição, conforme explica a WMO (2017, p. 1-3)<sup>11</sup> até possibilitam que sejam efetuadas medições em alta resolução temporal, mas não tem utilização satisfatoriamente disseminada. Sendo assim, a maior parte dos registros de temperatura é fornecida por estações meteorológicas convencionais, localizadas em terra. Isso quer dizer que a aproximação do valor da temperatura média diária ainda é embasada em observações em horários específicos (muitas vezes, com realização de três leituras diárias - às 7 (T7), 14 (T14) e 21 (T21) horas, por exemplo), ou nos valores máximos (TM) e mínimos (Tm) diários, por meio da utilização de termômetros de máxima e de mínima<sup>12</sup>.

Dáí decorre que há uma infinidade de opções legítimas para se calcular a temperatura média diária. Na verdade, mais de 100 diferentes fórmulas de cálculos de temperatura média diária tem sido utilizados em meteorologia e estudos climáticos (PETERSON; VOSE, 1997 *apud* OLIVEIRA, p. 121). Abaixo, são dados exemplos de fórmulas utilizadas em algumas regiões (Expressão 6), além de algumas fórmulas utilizadas no Brasil (Expressão 7), de acordo com Abreu (1961) e Oliveira (1969) (*apud* OLIVEIRA, 2010, p. 119).

---

<sup>11</sup> Ver documento “Desafíos en la transición de las redes de observaciones meteorológicas convencionales a las automáticas en registros climáticos a largo plazo”. Produzido pela WMO (2017).

<sup>12</sup> A Organização Meteorológica Mundial (WMO, 2009 *apud* OLIVEIRA, 2010) estabelece que a metodologia recomendada para o cálculo da temperatura média diária é tomar a média das temperaturas máximas e mínimas diariamente. Mas, ainda assim, sugere aos órgãos responsáveis nacionais que também as médias diárias sejam calculadas utilizando-se outros métodos, desde que estes cálculos possam melhorar a compreensão do clima no país.

#### Expressão 6 – Temperaturas médias para algumas regiões

$$T = \frac{1}{4}(T_7 + T_{14} + 2T_{21}) \quad \text{Europa Ocidental}$$

$$T = \frac{1}{4}(T_7 + T_{13} + T_{19} + T_1) \quad \text{Estados Unidos}$$

$$T = \frac{1}{2}(T_8 + T_{20})$$

Fonte: Abreu, 1961; Oliveira, 1969 (*apud* OLIVEIRA, 2010, p. 119).

#### Expressão 7 – Temperaturas médias para o Brasil

$$T = \frac{1}{4}(T_7 + T_{14} + 2T_{21}) \quad \text{Instituto Agronômico de Campinas (IAC)}$$

$$T = \frac{1}{5}(T_9 + 2T_{21} + T_M + T_m) \quad \text{Serviço de Meteorologia do Ministério da Agricultura (SM – MA)}$$

Fonte: Abreu, 1961; Oliveira, 1969 (*apud* OLIVEIRA, 2010, p. 120).

As temperaturas médias diárias, uma vez calculadas por qualquer uma das fórmulas disponíveis, são empregadas na determinação da temperatura média mensal. A seguir (Expressão 8), são apresentadas as fórmulas para o cálculo da temperatura mensal máxima, mínima e média, de acordo com a WCPD N. 10 (WMO, 1989 *apud* OLIVEIRA, 2011, p. 125). Nas fórmulas, o número de dias (N) em um mês utilizado para o cálculo pode ser variável, devendo se pautar na aplicação do critério “5/10”. Este recomenda que a média mensal só deve ser calculada desde que não estejam faltando 5 ou mais valores diários consecutivos ou 10 valores diários não consecutivos.

#### Expressão 8 – Fórmulas para cálculo da temperatura mensal máxima, mínima e média, respectivamente.

$$\bar{T}_M = \frac{\sum T_M}{N} \quad \bar{T}_m = \frac{\sum T_n}{N} \quad \bar{T} = \frac{\sum [(T_M + T_m) / 2]}{N}$$

Fonte: WMO, 1989 *apud* OLIVEIRA, 2011, p. 125)

Uma vez calculadas as médias para cada mês, é feito o cálculo da média mensal (Expressão 9) abrangendo o período de 30 anos, que é justamente o período que corresponde às normais-padrão<sup>13</sup>, conforme explica Oliveira (2011, p.125). As médias das normais padrão

<sup>13</sup> As normais constituem uma referência contra a qual os registros de temperatura (especialmente os atuais ou recentes) podem ser apreciados. Além disso, elas são amplamente utilizadas (explícita ou implicitamente para

são calculadas a partir dos valores mês-ano (jan-1961, jan-1962, jan-1963, jan-1964...jan-1990). Elas não devem ser calculadas no caso de, para um dado mês, três ou mais valores mês-ano consecutivos estiverem em falta, ou se cinco valores no total do mês dado forem ausentes. Conforme a WCPD N. 10, a normal da temperatura  $T_N$  para cada mês é calculada pela fórmula a seguir, onde  $M$  corresponde ao número de meses que tem os valores mês-ano disponíveis.

**Expressão 9 – Fórmula para cálculo das normais padrão mensais**

$$T_N = \frac{\sum \bar{T}}{M}$$

Fonte: WMO, 1989 *apud* OLIVEIRA, 2011, p. 125)

Isso feito, procede-se a obtenção da normal de temperatura anual por meio da média aritmética das normais de cada mês, ou seja,  $\frac{\sum T_N}{12}$ . No cálculo da normal anual não é permitido nenhum valor faltante de normal mensal (OLIVEIRA, 2011, p. 126). Assim, tem-se tanto as normais mensais de temperatura, quanto a normal anual, que servem de base para comparação com os dados de temperatura obtidos ano após ano.

Os registros de temperatura obtidos integram conjuntos de dados tais como HadCRUT4, MLOST e GISTEMP, que fornecem, ao final, anomalias médias de temperatura global, calculadas em uma escala de tempo mensal e anual. Esse valor, segundo a NOAA's National Centers for Environmental Information (2018), é gerado a partir dos cálculos de anomalias de temperatura média mensal espacializadas em células de 5° por 5° ao longo de toda superfície terrestre (superfície continental e oceânica). Um esquema ponderado por área é usado para refletir a realidade de que as células são menores perto dos pólos e maiores perto do equador. Anomalias médias de temperatura também são disponibilizadas para superfícies terrestres e oceânicas separadamente, bem como para os hemisférios norte e sul (VOSE *et al*, 2012; NOAA's National Centers for Environmental Information, 2018 – tradução nossa).

Posto isso, é necessário refletir que por detrás das anomalias expostas na Figura 9, há um grande processo que, na medida em que avança, compilando e condensando as informações obtidas, cada vez mais se distancia do mundo real, sendo cada vez menos capaz de afirmar algo sobre ele. Parte-se de registros do estado médio da atmosfera, sendo, cada um, feito numa dada porção de tempo, em um lugar específico, e chega-se a um valor médio,

---

fins preditivos, como um indicador das condições susceptíveis de ocorrer em uma dada região (WMO, 2007 *apud* OLIVEIRA, 2011, p. 124)

único, que deve representar, com significativa precisão, as variações de temperatura de todo o globo terrestre, no intervalo de tempo de um mês ou ano, em comparação às normais de temperatura. Ou seja: parte-se de registros meteorológicos, que dizem de fato algo sobre o mundo físico, consistindo em retratos locais e momentâneos da atmosfera, e chega-se a uma enorme abstração, a um valor de significado limitado e bastante questionável. Como é possível pretender que um único valor, alcançado por meio de médias aritméticas, traduza precisamente toda a sorte de variações de temperatura ocorridas ao longo de intervalos temporais e extensões territoriais tão grandes? Não à toa, Essex e McKitric (2007, p. 132, 133 apud ONÇA, 2011, p. 267) defendem que não é possível sequer falar em uma entidade denominada temperatura média global.

Segundo colocam, a temperatura não pode ser expressa por um valor único em qualquer sistema físico que não esteja em equilíbrio termodinâmico, ou seja, um sistema onde nada mais acontece, onde nada mais muda. Nesse sentido, não se pode fornecer um valor médio único para as temperaturas da Terra, que variam comumente de  $-60^{\circ}\text{C}$  a  $+40^{\circ}\text{C}$  nos diferentes locais todos os dias, todos os anos, todos os séculos. Como encontrar, em meio a essa imensa variabilidade espaço temporal, uma elevação de temperatura média de frações de grau, de três ordens de magnitude menor do que a amplitude térmica espacial verificada? As infundáveis disputas sobre qual é a melhor série de temperaturas médias globais, desse modo, seriam disputas entre conjuntos de dados estatísticos com pouco ou nenhum significado físico.

O posicionamento de Essex e McKitric revela a inadequação da finalidade com que são utilizados os dados observacionais de temperatura. A própria WMO (2007 apud OLIVEIRA, 2010, p. 154, 155) cita autores que argumentam que a média aritmética é uma descrição inadequada do clima, e que uma descrição completa<sup>14</sup> exige a especificação integral da distribuição de frequência<sup>15</sup>. A entidade reconhece ainda que “a rede atual de dados não foi projetada adequadamente, ou em sua totalidade, para medir, detectar, ou atribuir mudanças climáticas” WMO (2000 apud OLIVEIRA, 2011, p. 155).

Como se não bastasse o fato de as séries de temperatura médias globais não serem capazes de descrever satisfatoriamente as variações de temperatura na Terra, não expressando a desejável correspondência com o mundo real, ocorre também frequentemente de as próprias

---

<sup>14</sup> Constitui um desafio a maximização da quantidade de informações que pode ser fornecida sobre as propriedades estatísticas de uma variável fazendo uso de um número finito de parâmetros numéricos (OLIVEIRA, 2011, p. 155).

<sup>15</sup> Parâmetros comuns utilizados para esse fim incluem o número de dias em que um elemento está abaixo ou acima de determinado nível (por exemplo, o número de dias com temperaturas superiores a  $30^{\circ}\text{C}$ ), bem como os valores extremos de alta e baixa de um elemento durante um período determinado (OLIVEIRA, 2011, p. 155).

medições meteorológicas serem afetadas por fatores não climáticos, o que introduz uma gama de erros nas séries. Estes erros, também referidos como heterogeneidades, conforme relata Oliveira (2010, p. 127, 128), durante o processo de validação das séries, são primeiramente identificados por meio de exame visual ou por meio de métodos estatísticos. Posteriormente são submetidos a ajustes para obtenção de uma série homogênea, o que envolve a escolha das técnicas mais adequadas. Os erros podem ser classificados como aleatórios (erros de calibração dos instrumentos ou erro de leitura e/ou transcrição) ou sistemáticos. Os aleatórios são de mais fácil identificação e tratamento, ao contrário dos sistemáticos, que podem trazer graves implicações para o monitoramento climático.

Os erros sistemáticos são as descontinuidades sistemáticas artificiais em uma série. Denomina-se homogeneização justamente o processo de remoção de mudanças sistemáticas de erros tendenciais em uma série climática. Um conjunto de dados pode ser considerado homogêneo quando alterações nos dados refletem uma mudança nas condições meteorológicas, ao invés de uma mudança nas condições em que as observações foram feitas (WMO, 2007; MENNE; WILLIAMS JR.; VOSE, 2009 *apud* OLIVEIRA 2010, p. 128).

Dentre as causas de heterogeneidades sistemáticas, ou seja, de alterações nos dados que não refletem mudanças meteorológicas, as principais, segundo WMO (2007), Menne Jr e Vose (2009) (*apud* OLIVEIRA, 2010), são:

- Mudanças nos procedimentos utilizados para fazer as observações (como alterações no horário de observação) ou processar dados (diferentes cálculos de médias);
- Mudanças na instrumentação utilizada para fazer uma observação;
- Mudanças na localização da estação; e
- Mudanças no ambiente local ao redor de um local de observação.

A WMO (2017, p. 6)<sup>16</sup> aponta que, historicamente, as mudanças significativas nas tecnologias de observação, sobretudo nos abrigos utilizados para proteger os instrumentos da radiação solar direta ou indireta, tem ocasionado uma falta de homogeneidade, às vezes considerável, nas medições de temperatura. Por exemplo, a introdução dos abrigos típicos para os instrumentos (abrigos de Stevenson ou outros abrigos similares) em diversos países no final do século XIX e início do século XX produziu variações generalizadas em torno de 0,2

---

<sup>16</sup> Desafios en la transición de las redes de observaciones meteorológicas convencionales a las automáticas en registros climáticos a largo plazo (WMO, 2017)

°C nas temperaturas médias anuais (Parker, 1994), e variações ainda maiores em certas estações (por exemplo, Brunet et al, 2011; Ashcroft et al, 2012).

Menne, William e Vose (2009, *apud* OLIVEIRA, 2011, p. 129) relatam um quadro importante nos Estados Unidos, onde desenvolveu-se um processo de conversão generalizada dos horários de medição do período da tarde para o período da manhã. Antes da década de 1940, por exemplo, a maioria dos observadores fazia a leitura dos instrumentos no final da tarde (mais quente em relação à manhã), em conformidade com as instruções normativas da época. Isso implicou em registros de temperatura com um leve viés positivo durante a primeira metade do século. Com a alteração do calendário de leitura diária dos observadores, da tarde para a manhã, ocorrida para satisfação de requisitos operacionais hidrológicos, as temperaturas médias calculadas foram reduzidas em larga escala. Ou seja, nos Estados Unidos, durante os últimos 50 anos, a conversão gradual do horário de observação para o período da manhã reduziu artificialmente a verdadeira tendência de temperatura no registro climático. Essas influências causaram diferenças de temperatura da ordem de 0,2 °C.

Sendo assim, uma gama de heterogeneidades sistemáticas podem atuar, seja separadamente, seja em conjunto, para influenciar uma série de dados de temperatura proveniente de uma determinada estação meteorológica. E pode ser extremamente difícil ou até mesmo impossível identificar as causas de incorporação de erros tendenciais nas séries, até mesmo porque, como revela Oliveira (2010, p. 129), boa parte das estações meteorológicas possui um histórico associado incompleto, sendo normal a falta de metadados, ou seja, a falta de dados oficiais informando as mudanças ocorridas na própria estação, como em sua localização ou em sua instrumentação. Isso contribui para dificultar o processo de homogeneização dos dados.

Ainda que um fator causador de heterogeneidade sistemática em séries de temperatura seja identificado, pode não ser possível anular sua influência na série, não havendo uma remoção e/ou correção completa<sup>17</sup>. É o que defende Molion (2008, p. 11) para o efeito de ilha de calor<sup>18</sup> nas séries de temperatura de áreas urbanizadas. Ele coloca que os algoritmos matemáticos empregados no ajuste dos dados, para compensar o efeito da urbanização, não

---

<sup>17</sup> Onça (2011, p. 262) aponta um caso em que os métodos empregados para ajustar uma série de dados introduziram uma tendência de aquecimento ainda maior.

<sup>18</sup> A ilha de calor urbana corresponde a uma área na qual a temperatura da superfície é mais elevada que nas áreas circunvizinhas. O efeito da ilha de calor sobre as cidades ocorre devido: à redução da evaporação (decorrente da presença de poucas áreas verdes, aumento da impermeabilidade dos solos e aumento do escoamento superficial); ao aumento da rugosidade e às propriedades térmicas dos edifícios e dos materiais pavimentados; e à produção de energia antropogênica de emissões de calor pelas indústrias, trânsito e habitações (LOMBARDO *apud* OLIVEIRA, 2011, p. 135).

necessariamente são apropriados ou representam a realidade. Aponta para a subjetividade envolvida nesses procedimentos, questionando suas aplicações.

Segundo Molion, o chamado efeito de ilha de calor faz as temperaturas do ar serem, em média, de 3 °C a 5 °C maiores nos grandes centros urbanos quando comparadas às de suas redondezas. Ele cita os dados de Beijing e Wuhan, China, Rent *et al* (2007) como exemplo, onde foram encontrados aumentos anuais e sazonais nas temperaturas urbanas entre 65-80% e 40-61%, respectivamente, com relação às estações rurais de suas vizinhanças. Dessa forma, para Molion, uma das possibilidades é que o aquecimento denotado pelos dados de temperatura média global seja, em parte, resultante da urbanização em torno das estações meteorológicas, ou seja, fruto de um aquecimento local e não global. Vale lembrar, como também expõe Holland (2007, p. 977 *apud* ONÇA, 2011, p. 257), que a maior parte das estações meteorológicas situa-se nas cidades, ou seja, em áreas urbanas.

Essa possibilidade colocada por Molion é rejeitada pelo IPCC (2013, p. 37, 189). Segundo o organismo, de fato, é indiscutível que o efeito de ilha de calor urbana e mudanças no uso do solo influenciam realmente nos registros de temperatura bruta. A questão é até que ponto essas influências permanecem nos produtos globais (como resíduos em estimativas representativas de variação de temperatura média regionalmente mais amplas). Baseando-se principalmente na gama de comparações de conjuntos de dados ajustados “urban minus rural” (UMR)<sup>19</sup> e no grau de concordância desses produtos com uma ampla gama de produtos de reanálise, é improvável que quaisquer efeitos não corrigidos de ilhas de calor e de mudança no uso do solo tenham aumentado as tendências de temperatura médias globais centenárias - estimadas com bases em estações meteorológicas superficiais continentais (LSAT<sup>20</sup>) – em mais de 10% da tendência reportada (resultado com alta confiança, baseado em evidências robustas e alta concordância). Em seguida o IPCC ressalta que esse é um valor médio e que, em algumas regiões com rápido desenvolvimento, os impactos por efeito de ilha de calor urbano e mudança no uso do solo nas tendências regionais podem ser substancialmente maiores.

---

<sup>19</sup> “Urban minus rural” (em tradução direta, “urbano menos rural”) é um dos métodos utilizados para quantificar os impactos potenciais da urbanização nos registros de temperatura fornecidos por estações meteorológicas (WANG e YAN, 2015. Disponível em: <https://www.hindawi.com/journals/amete/2015/352360/>).

<sup>20</sup> A sigla LSAT significa “land surface air temperature” ou temperatura do ar na superfície terrestre. Refere-se apenas às estações meteorológicas localizadas sobre os continentes (p. 1456)

Cabe observar que o IPCC procura expor incertezas relacionadas à questão, citando autores com posicionamento divergente do seu, como McKittrick e Michaels (2004), Laat e Maurellis (2006), McKittrick e Nierenberg (2010), mas, ao final, acaba posicionando-se firmemente<sup>21</sup> pela insignificância dos efeitos da urbanização nas tendências globais de temperatura. ONÇA (2011), em tom irônico, diz ser curioso como o IPCC credita o aquecimento global à interferência humana, mas rejeita as evidências da interferência humana sobre o meio ambiente local. Ao que parece, a esfera de atuação humana estaria restrita apenas à escala global, estando a escala local fora de sua alçada.

A autora ainda tece críticas contundentes ao trabalho de Peterson (2003), utilizado pelo IPCC em seu quarto relatório para sustentar o entendimento do fraco impacto de ilhas de calor urbano na temperatura média global. Em contraposição, cita trabalho de Watts (2010) de avaliação de 865 das 1221 estações meteorológicas de superfície supervisionadas pelo National Weather Service (um departamento da NOAA) representando mais de 70% da rede de estações dos Estados Unidos, considerada a mais confiável do mundo. Como resultado, obteve-se que 89% das estações meteorológicas de superfície do conjunto mais confiável do mundo não são confiáveis<sup>22</sup> (de acordo com critérios de enquadramento de estações da própria NOAA).

Mundialmente, a Global Historical Climate Network (GHCN) conta com o maior número de estações meteorológicas terrestres de superfície, constituindo a base comum das principais séries globais de temperatura. A maior parte dessas estações, como expõe a própria NOAA (2018) encontra-se localizada no Hemisfério Norte, concentradas na América do Norte, Europa e Ásia. O intervalo coberto pelos registros de temperatura diários das estações GHCN-Daily<sup>23</sup> varia de menos de um ano a mais de 175 anos, com o registro médio abrangendo quatro décadas ou mais. A densidade máxima foi atingida em 1960. Antes de 1890 haviam pouquíssimas estações. A seguir, é possível verificar a densidade geográfica de estações (Figura 10) para as quais se tem pelo menos 10 anos de registros de temperatura (desde 1861 a 2010), bem como a quantidade delas (Gráfico 14).

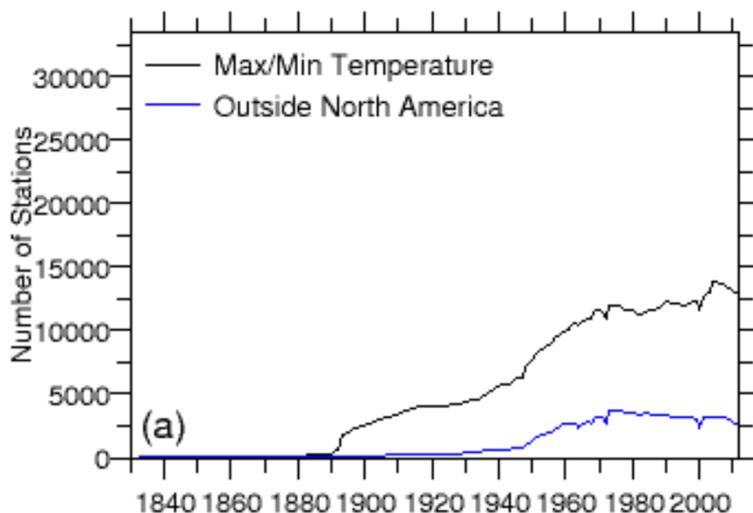
---

<sup>21</sup> Esta observação sobre o comportamento do IPCC, evidenciada ao longo da leitura do texto, é aplicável em diversas outras situações, podendo ser generalizada.

<sup>22</sup> Neste trabalho detectou-se que um expressivo número de estações encontra-se próximo de construções das mais diversas, como, aeroportos, asfalto, concreto, subestações elétricas, saídas de ar condicionado, equipamentos eletrônicos, estações de tratamento de água e esgoto, churrasqueiras e inúmeras outras inadequações.

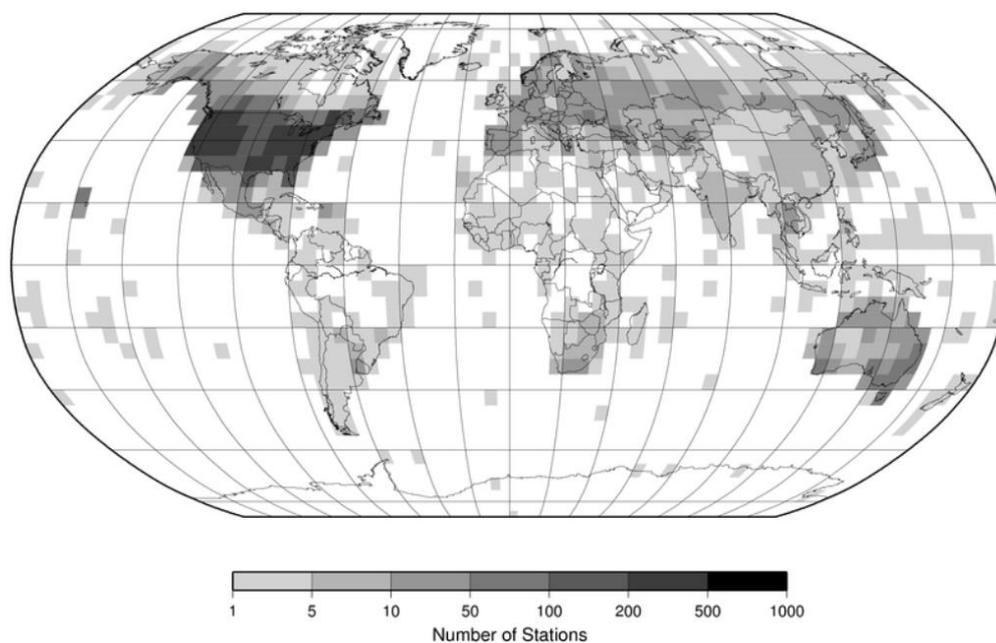
<sup>23</sup> O GHCN-Daily é composto por registros climáticos diários de várias fontes que foram integradas e submetidas a um conjunto comum de revisões de garantia de qualidade (NOAA, 2018).

Gráfico 14 - Quantidade de estações para as quais se tem pelo menos 10 anos de registros diários de temperatura.



Fonte: NOAA (2018)

Figura 10 - Densidade de estações para as quais se tem pelo menos 10 anos de registros de temperatura diária (desde 1861 a 2010)<sup>24</sup>



Fonte: NOAA (2018)

Na Figura 10 e Gráfico 14 é possível perceber que há sérios problemas de distribuição espacial das estações meteorológicas. Mas, em verdade, a situação é pior ainda. É preciso

<sup>24</sup> Ver histórico completo em: <<https://www.ncdc.noaa.gov/ghcn-daily-description>>. Ver também: <<https://www1.ncdc.noaa.gov/pub/data/ghcn/daily/figures/stn-yrs.png>>

observar que, nas figuras acima, são abordadas todas as estações para as quais se tem pelo menos 10 anos de registros diários de temperatura. Ou seja, não necessariamente essas estações estão ativas ou existem atualmente. De acordo com Essex e McKittrick (*apud* ONÇA, p. 263, 264), mais de dois terços das estações meteorológicas do GHCN encerraram suas atividades nas últimas três décadas. A acentuada queda no número de estações, apontada entre 1988 e 1993, coincide com o colapso soviético e uma recessão econômica no ocidente, que conduziram ao abandono de metades das estações até então existentes.

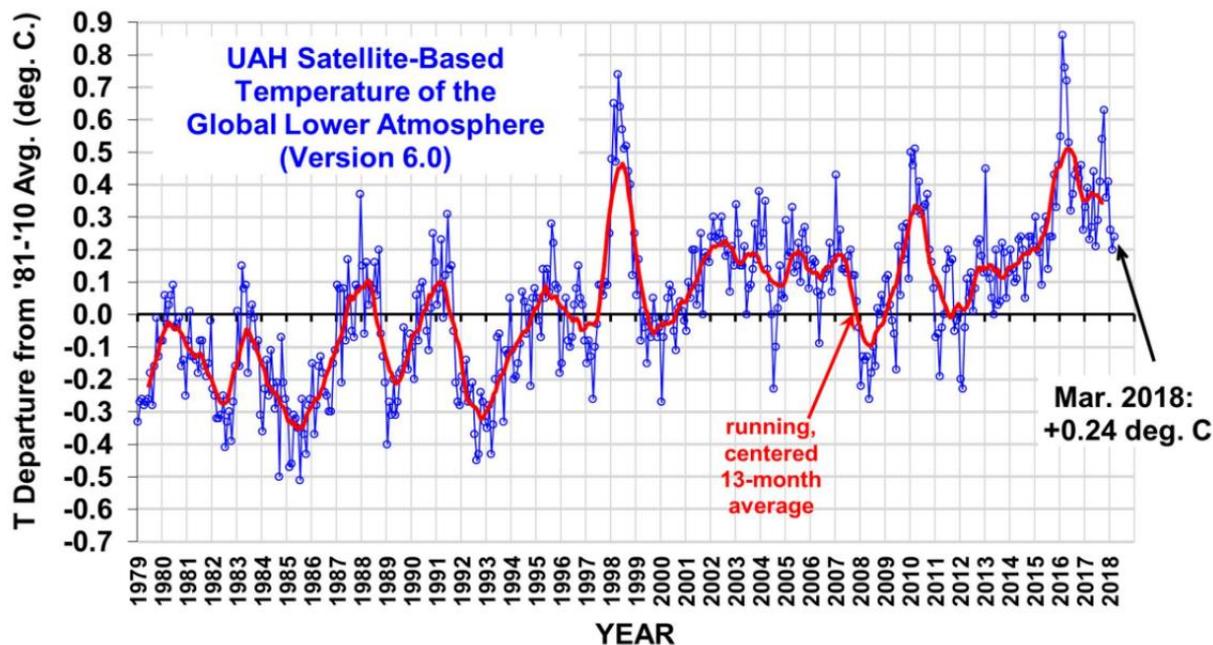
Como coloca Molion (2008), a distribuição insuficiente das estações torna extremamente difícil o tratamento e amalgamação dos registros de temperatura em uma única série de temperatura média global. Assim, as estações meteorológicas são inadequadas para determinação de uma suposta temperatura média global. Em princípio, os satélites são mais apropriados para medir a temperatura global, pois fazem médias sobre grande áreas, incluindo oceanos, enquanto as estações meteorológicas de superfície registram variações de seu micro ambiente. Segundo Christy - *apud* JONES, 1997, p. 61, 62 - e Spencer e Christy - 1990 (*apud* ONÇA, 2010, p. 326), a série de dados obtidos por sensores MSU<sup>25</sup> (Microwave Scanning Unit – unidade de sondagem de micro-ondas) é a única que pode ser considerada verdadeiramente global e que usa um sistema de medidas completamente homogêneo, isto é um único termômetro para todo o planeta.

De acordo com Molion (2008), ao contrário dos conjuntos de dados obtidos a partir de termômetros de superfície (que mostram aumentos de 0,16°C por década), dados dos MSU a bordo de satélites não confirmaram um aquecimento expressivo pós 1979 (mostram aumento de 0,076°C por década). As duas principais séries de satélite, expostas logo mais abaixo, são a MSU/UAH – Universidade do Alabama em Huntsville (Gráfico 15) - e RSS – Remote Sensing Systems (Gráfico 16) (esta última é comparada com as saídas de simulações climáticas dos modelos CMIP-5). Nelas, nota-se que, tomando o ano de 1998 como referência (ano em foi registrado um intenso El Niño, provocando aquecimento), as anomalias de temperatura subsequentes foram sempre inferiores, sendo superadas apenas pelas medições recentes em 2016 (ano em que ocorreu outro grande evento El Niño).

---

<sup>25</sup> Essas medições conseguem representar as variações de temperatura de camadas profundas da atmosfera com base no fato de que o oxigênio atmosférico emite energia com uma intensidade proporcional à sua temperatura, permitindo conhecer a temperatura da atmosfera sem as interferências diretas do ambiente [Christy - *apud* JONES, 1997, p. 61, 62 - e Spencer e Christy - 1990 (*apud* ONÇA, 2010, p. 326)].

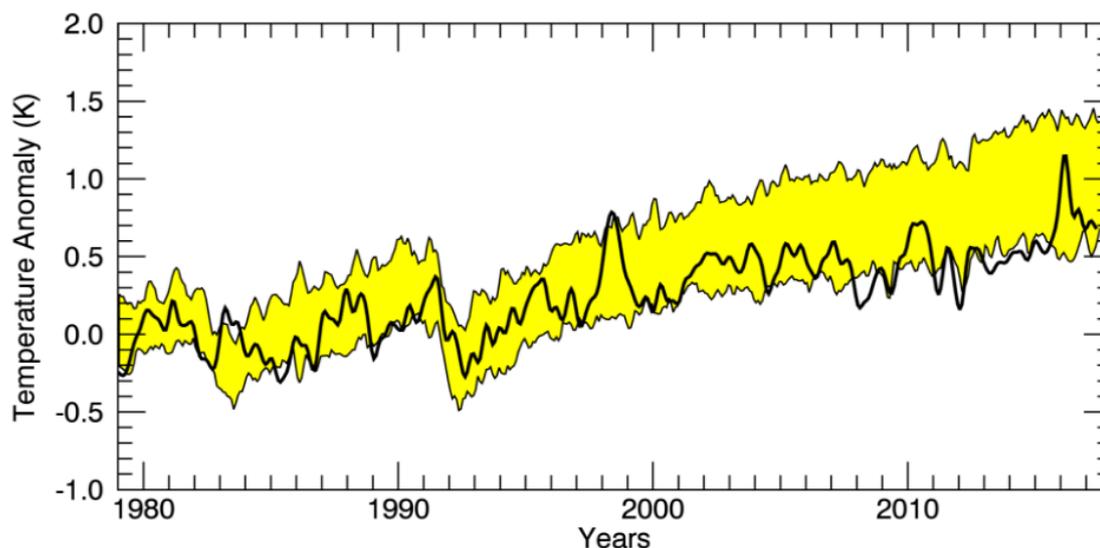
Gráfico 15 - Anomalias mensais de temperaturas médias globais °C da baixa troposfera de 1978 a 2018 em relação à média 1981-2010, a partir de dados da UAH (Versão 6.0).



Fonte: SPENCER (2018). Disponível em: <<http://www.drroyspencer.com/latest-global-temperatures/>>

A média centrada de 13 meses (linha em vermelho) destina-se a fornecer uma indicação das variações de frequência mais baixas nos dados.

Gráfico 16 - Anomalia média global (70S a 80N) para a baixa troposfera de 1979 a 2017 (em relação à média de 1979-1984).



Fonte: RSS (2018). Disponível em: <<http://www.remss.com/research/climate/#Atmospheric-Temperature>>

A linha preta é a série temporal do conjunto de dados de temperatura atmosférica RSS V4.0 MSU/AMSU. A faixa amarela é a faixa de saída de 5% a 95% das simulações climáticas do CMIP-5. O valor médio de cada média de séries temporais de 1979-1984 é definido como zero, de modo que as alterações ao longo do tempo podem ser vistas com mais facilidade.

Na série RSS, é preciso observar que, após 1998, as observações de temperatura situam-se na parte inferior da faixa (amarela) de distribuição do modelo, indicando que há discrepâncias entre os resultados dos modelos e as observações obtidas por satélites. De fato, não houve um aquecimento tão rápido como a maioria dos modelos climáticos previram. Uma possível explicação para essas discrepâncias é um erro na física fundamental usada nos modelos climáticos (RSS, 2018).

Além disso, existem pelo menos três outras explicações plausíveis para as diferenças entre observações e resultados de modelos, quais sejam: erros nos forçamentos usados como entrada para as simulações dos modelos (estes incluem forçamentos devido a gases antropogênicos e aerossóis, aerossóis vulcânicos, entrada solar e mudanças no ozônio); erros nas observações dos satélites (parcialmente abordados pelo uso da incerteza envolvida); e sequências de variabilidade climática interna nas simulações que são diferentes do que ocorreu no mundo real. Estas quatro explicações são chamadas, respectivamente, de "erros de modelo de física", "erros de entrada de modelo", "erros de observação" e "sequências de variabilidade diferentes". Eles não são mutuamente excludentes. De fato, há provas científicas de que todos esses quatro fatores contribuem para a discrepância, e que a maior parte deles pode ser explicada sem recorrer a erros físicos de modelo (RSS, 2018).

Isso quer dizer que mesmo se todos os modelos fossem fisicamente perfeitos (o que não ocorre), ou seja, representassem fidedignamente toda a dinâmica do sistema climático, ainda assim seus resultados seriam repletos de incerteza. Nesse sentido, como colocam Allen et al (2000) e Santer et al (2007) *apud* IPCC, 2013, p. 767, tradução nossa), a comparação das alterações climáticas observadas e simuladas é complicada, pois os resultados da simulação dependem tanto da formulação do modelo quanto das forçantes externas variáveis no tempo impostas aos modelos.

A formulação dos modelos de clima global <sup>26</sup> (MCGs) envolve representações matemáticas, a partir de leis fundamentais da física, de processos climáticos numa teia tridimensional de pontos na superfície terrestre, na troposfera e na estratosfera. Para cada cubo da teia são computados os dados que incluem temperatura, precipitação, ventos, umidade e pressão, cuja interação é representada tão acuradamente quanto permitem o conhecimento existente e o desenvolvimento dos computadores (WHYTE, 1995, p. 94, 95

---

<sup>26</sup> O sistema climático pode ser representado por modelos de complexidade variável, ou seja, para qualquer componente ou combinação de componentes, um espectro ou hierarquia de modelos pode ser identificado, diferindo em aspectos a extensão em que processos químicos ou biológicos são explicitamente representados ou o nível no qual as parametrizações empíricas estão envolvidas (IPCC 2013, p. 1450).

*apud* ONÇA, 2011, p. 193). Com isso, como coloca Molion (2008, p. 16), tem-se por finalidade simular ou avaliar a resposta do sistema climático sob forçamentos radiativos, ou seja, sob aumento ou diminuição do fluxo de radiação associado a diferentes fatores climáticos.

Embora, como relata o IPCC (2007, p. 117, 602 *apud* ONÇA, 2011, p. 194, 195), seja verificada evolução na modelagem climática, tanto em relação à resolução espacial, quanto aos processos considerados, várias questões ainda persistem. Muitos dos importantes processos que determinam a resposta de um modelo a mudanças no forçamento radiativo não são resolvidas pelas atuais resoluções (de ~110 Km). Para isso, são empregadas parametrizações<sup>27</sup> de subgrade em processos que podem ocorrer em escalas menores, como a formação de nuvens e misturas devido a distúrbios oceânicos. Essas parametrizações são, em geral, expõe Molion (2008, p. 16), feitas com algoritmos físico-estatísticos que dependem da intuição física do modelador e, portanto, podem não representar a realidade física e serem questionáveis.

O IPCC (2013, p. 809, tradução nossa) aborda os erros vinculados às incertezas na representação de processos (parametrizações) nos modelos. Algumas delas são questões de longa data na modelagem climática, refletindo o entendimento limitado de processos muito complexos e os desafios inerentes a representá-los matematicamente. Para a atmosfera, os processos de nuvem, incluindo a convecção e sua interação com a camada limite e a circulação em larga escala, continuam sendo as principais fontes de incerteza. Estes, por sua vez, causam erros ou incertezas na radiação que se propaga por meio do sistema climático acoplado. A distribuição de aerossóis é também uma fonte de incerteza advinda de processos microfísicos e de transporte modelados. Os modelos oceânicos estão sujeitos a incertezas nas parametrizações de mistura vertical e horizontal e convecção, sendo que estas, por sua vez, afetam a atmosfera através dos vieses de TSM (temperatura de superfície do mar) resultantes. A simulação do gelo marinho também é afetada por erros na atmosfera e no oceano, bem como na parametrização do próprio gelo marinho.

Na prática, ocorre que as incertezas incidentes sobre processos fundamentais na dinâmica climática, uma vez incorporadas nos modelos, atuam no sentido de propagar a incerteza, na medida em que os elementos constitutivos do clima estão em constante interação. Além disso, mesmo quando se atua na busca de melhor representação dos processos

---

<sup>27</sup> A parametrização, em modelos climáticos, se refere à técnica de representação de processos que não podem ser explicitamente resolvidos na resolução espacial ou temporal do modelo (processos de escala em subgrade) (IPCC 2013, p. 1459).

climáticos, por meio da melhoria dos modelos, não necessariamente as incertezas diminuam. Segundo o próprio IPCC (2013, p. 824, tradução nossa), cada complexidade adicional, acrescentada aos modelos, embora destinada a melhorar algum aspecto do clima simulado, também introduz novas fontes de possíveis erros.

Não à toa, como expõe Molion (2008, p. 16), os MCGs tem sérias dificuldades de reproduzir o clima observado. Para tal precisam ser submetidos ao que eufemisticamente é chamado de “sintonia” ou “ajuste”. Como explica o IPCC (2013, p. 749), os componentes individuais dos modelos, tipicamente, são avaliados primeiramente de forma isolada. Posteriormente os vários componentes são reunidos em um modelo abrangente, que passa então por uma avaliação sistemática. Nesse estágio, um pequeno subconjunto de parâmetros do modelo continua a ser ajustado para que o modelo siga as restrições observacionais de grande escala (geralmente médias globais). Esse procedimento final de ajuste<sup>28</sup> de parâmetros é geralmente chamado de “ajuste de modelo”<sup>29</sup>. Ele visa prover uma combinação do modelo com o sistema climático observado e, portanto, está ligado a julgamentos sobre o que constitui uma representação habilidosa do clima da Terra.

A exigência de ajuste do modelo pode aumentar a incerteza atrelada a ele e levanta a questão de se os modelos climáticos são confiáveis para projeções climáticas futuras. Os modelos não são ajustados para corresponder a um futuro específico; eles são ajustados para reproduzir um pequeno subconjunto de restrições baseadas em observações globais. O que ocorre é que os modelos que reproduzem o passado de modo plausível exibem universalmente um aquecimento significativo sob o aumento das concentrações de gases de efeito estufa, consistente com nossa compreensão física (IPCC, 2013, p. 749, tradução nossa).

Ante o exposto, fica claro. O IPCC atribui uma importância muito grande aos gases de efeito estufa, especialmente ao CO<sub>2</sub>, e em segundo plano ao CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O. Essa é a sua compreensão física do sistema climático, elegendo o CO<sub>2</sub> como um fator de regulação climática de muito peso. Não deve ser uma surpresa então o fato de os modelos exibirem aquecimento significativo sob o aumento da concentração de gases de efeito estufa, particularmente do CO<sub>2</sub>. Também não deve ser surpreendente que os forçamentos

---

<sup>28</sup> Com pouquíssimas exceções (Mauritsen et al., 2012; Hourdin et al., 2013 apud IPCC, 2013, p. 750), os centros de modelagem não descrevem rotineiramente em detalhes como ajustam seus modelos. Portanto, a lista completa de restrições de observação para as quais um determinado modelo é ajustado geralmente não está disponível.

<sup>29</sup> Os modelos usados no Fifth Assessment Report quase que universalmente contêm ajustes em seu tratamento de nuvens (IPCC 2013, p. 749).

antropogênicos (por meio dos gases estufa) tenham uma relevância tão grande nos modelos. Os modelos só fazem o que estão programados para fazer, fornecendo resultados de acordo com as teorias e pressuposições embutidos em suas construções. Uma vez que só os forçamentos naturais, quando rodados nos modelos, não reproduzem as observações de temperatura, melhor alcançadas somente com a adição dos forçamentos antrópicos, conclui-se então, apesar de todas as enormes incertezas envolvidas, que o ser humano é culpado.

Há aí, como aponta Onça (2011, p. 315, 316), um gravíssimo erro epistemológico do qual poucos parecem ter se dado conta: constrói-se um modelo e espera-se que o mundo real corresponda a ele. No caso de não corresponder, existe algo de errado com o mundo, e não com os modelos, ou seja: se os forçamentos naturais estimados, por si só, quando inseridos nos modelos, não reproduzem as temperaturas observadas, então é porque os forçamentos naturais não são capazes de provocar essas temperaturas; é porque o sistema climático, naturalmente, não pode engendrar aquilo que o modelo não consegue reproduzir. A frustração do ideal de ordem natural em questão, a inadequação entre teoria e mundo, que sob qualquer outra circunstância implicaria no mínimo em uma revisão da teoria, é explicada pelo IPCC como uma deformidade no mundo, nunca na teoria. De fato, prossegue a autora, em ramos fracamente desenvolvidos da ciência, como a climatologia, por vezes torna-se inevitável o emprego de juízos e modelos a priori, bem como é possível estabelecer qualquer relação entre variáveis sem grande contestação.

Entra aí a discussão da relação, pressuposta na teoria, do aumento da concentração de gases estufa como fator causador do aumento da temperatura média global. Como expõe Minshull (1975, p. 122, 123 *apud* ONÇA, 2011, p. 321), o fato de dois fenômenos covariarem, seja diretamente ou inversamente, mesmo que perfeitamente, de forma alguma configura uma prova de que os dois estejam relacionados, menos ainda de que um seja a causa do outro. A elevação da temperatura média global não é nem nunca será uma prova do aquecimento global, até mesmo porque nem sequer essa covariação é perfeita. Tal covariação pode consistir em uma simples coincidência, bem como pode ser uma consequência de ambos os fenômenos serem afetados por um terceiro fator, que bem pode não ter sido considerado na formulação do modelo. A covariação não é uma explicação de causa e efeito, mas sim simplesmente a garantia de que uma combinação é significativa. Depois de estabelecida a covariação, falta estabelecer uma relação de causa e efeito que a explique satisfatoriamente. E até então, não foi produzida explicação satisfatória sobre o aumento da temperatura em decorrência do aumento de gases estufa antrópicos.

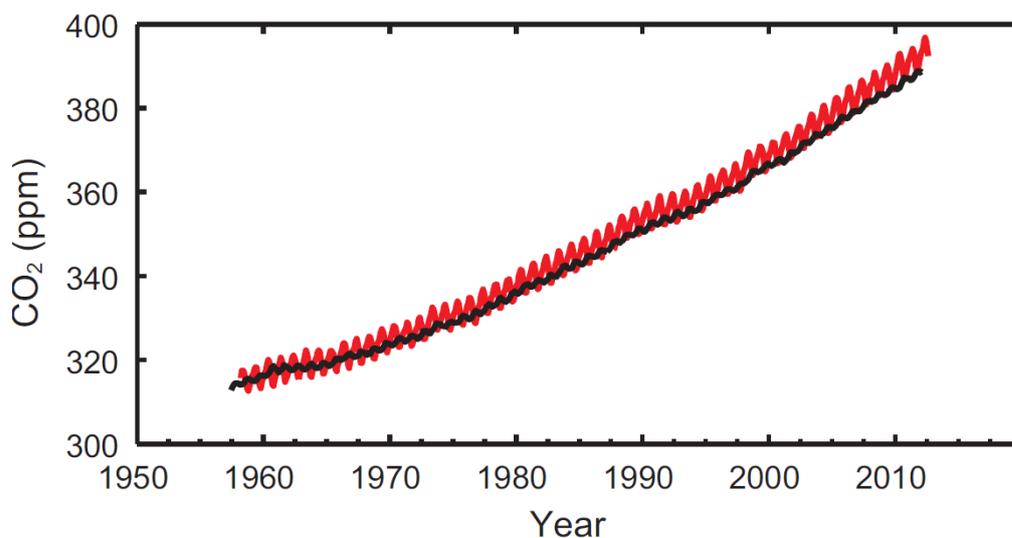
Um dos gargalos mais notáveis na teoria do aquecimento global, como expõe Molion (2008, p. 51), é a redução da temperatura média global em 0,2°C entre 1947 e 1976, fenômeno que o IPCC não consegue explicar. O período de resfriamento observado, contraditoriamente, coincide com o período pós-fim da Segunda Guerra Mundial (em 1945), em que os níveis de emissão de CO<sub>2</sub> aumentaram exponencialmente, o que deveria se refletir no aumento da temperatura média mundial. Antes do término da Segunda Guerra Mundial, as emissões antrópicas eram cerca de 10% das atuais, mas entre 1920 e 1946 o aquecimento global detectado foi de cerca de 0,4°C, tornando-se difícil argumentar que os aumentos de temperatura nessa época tenham sido causados pela intensificação do efeito estufa provocado pelo homem. O próprio IPCC concorda que esse primeiro período de aquecimento pode ter tido causas naturais, possivelmente o aumento da redução de energia solar e a redução do albedo planetário.

Outra questão mais recente é que, conforme o próprio IPCC (2013, p.769, 770, tradução nossa) aponta, de 1998 a 2012, a temperatura média global observada na superfície mostrou uma tendência linear crescente muito menor do que nos últimos 30 a 60 anos. Ou seja, a tendência de aumento da temperatura diminuiu. Por exemplo, no conjunto de dados HadCRUT4, a tendência é de 0,04°C por década, no período de 1998 a 2012, em comparação com 0,11°C por década, no período de 1951 a 2012. Esse fenômeno, classificado como um “hiato” na tendência de aquecimento observada levanta a questão sobre o que o teria provocado. Na tentativa de formular uma explicação, o IPCC colocou que períodos de hiato de 10 a 15 anos podem surgir como uma manifestação da variabilidade interna do clima decadal, o que às vezes aumenta, às vezes neutraliza a tendência forçada externamente de longo prazo.

Vale sublinhar aqui a referida variabilidade interna aludida pelo IPCC. É interessante observar que ao mesmo tempo em que a variabilidade interna do sistema climático impõe problemas à teoria do aquecimento global, produzindo fenômenos embaraçosos, peças que não se encaixam no quebra-cabeças construído, ela também se apresenta como a saída para os contratempos ocorridos. Uma vez que os dados não saíram conforme o esperado, ou seja, uma vez que a tendência de aquecimento não aumentou, é porque a variabilidade interna atuou, imprevisivelmente (é claro, porque não é possível prever mesmo), de maneira que a verdadeira tendência, induzida pelos forçamentos antropogênicos, foi amenizada e camuflada. A recorrência a esse tipo de subterfúgio parece tornar inexorável a teoria do aquecimento global, dificultando o seu falseamento.

De forma geral, o IPCC (2013, p. 486, 491, 493, 492, tradução nossa) expõe que desde o início da Era Industrial (desde 1750), a concentração do CO<sub>2</sub> na atmosfera aumentou em 40%, de 278 ± 5 ppm para 390,5 ± 0,1 ppm em 2011, em grande medida em função das atividades antrópicas, principalmente de queima de combustíveis fósseis (carvão, petróleo, gás), produção de cimento e atividades de mudança no uso do solo (principalmente desmatamento). O aumento do CO<sub>2</sub> atmosférico entre 1750 e 1957, antes das medições diretas na atmosfera, é determinado a partir de medições de CO<sub>2</sub> preso em bolhas de ar em núcleos de gelo. Depois de 1957, o Painel coloca que o aumento do CO<sub>2</sub> atmosférico é estabelecido a partir de medições de CO<sub>2</sub> diretas (através de espectrometria de infravermelho), e utiliza como evidência principalmente a série de Mauna Loa, Havaí (iniciada em 1957, por Charles Keeling, como já dito antes). Esta série é exposta logo mais abaixo, juntamente com outra, no Gráfico 17.

Gráfico 17 - Concentrações atmosféricas de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) de Mauna Loa (19 ° 32'N, 155 ° 34'W - vermelho) e Pólo Sul (89 ° 59'S, 24 ° 48'W - preto) desde 1958.



Fonte: IPCC (2013, p. 12)

Como explica Molion (2008, p. 53, 54), ao usar a Série de Mauna Loa para o período pós 1957 e, para o período anterior a 1957, apenas as estimativas da concentração de CO<sub>2</sub> por meio das análises dos cilindros de gelo, o IPCC deixa a impressão de que os cientistas não teriam se preocupado em medir a concentração de CO<sub>2</sub> antes de 1957. Entretanto, como relata Plimer (2009, p. 416, 417 *apud* ONÇA, 2011, p. 290), entre 1812 e 1961, foram realizadas medições das concentrações de CO<sub>2</sub> com uma acurácia de 1 a 3% pelo método químico Pottenkoffer. Durante esse período, foram tomadas mais de 90000 medidas de CO<sub>2</sub>, que mostram uma grande variabilidade. Entre os anos 1955 e 1960, por exemplo, medições

realizadas em 21 estações do noroeste da Europa atestaram que as concentrações atmosféricas de CO<sub>2</sub> variaram entre 270 e 380 ppm, com uma média anual de 315 a 331 ppm, sem qualquer tendência de aumento ou diminuição. O conjunto das medições de CO<sub>2</sub> pelo método Pettenkofer revela que durante a maior parte do século XIX e de 1935 a 1950, o dióxido de carbono atmosférico esteve em concentrações mais elevadas que no presente e variou consideravelmente, com picos em 1825, 1857 e em 1942, que registrou concentrações de 400 ppm.

Ainda segundo Plimer (2009, p. 416-419 *apud* ONÇA, 2011, p. 290), com o início das medições de CO<sub>2</sub> em Mauna Loa, o método de análise foi mudado para a espectroscopia de infravermelho. Comparada ao método Pettenkofer, a espectroscopia de infravermelho é simples, rápida e barata, mas nunca foi validada em relação a ele<sup>30</sup>. O autor observa que o espectro de absorção do CO<sub>2</sub> no infravermelho sobrepõe-se ao do vapor d'água (H<sub>2</sub>O), do ozônio (O<sub>3</sub>), do metano (CH<sub>4</sub>), do óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) e dos clorofluorcarbonos (CFCs), o que implica que tais gases podem ser detectados e medidos como se fossem CO<sub>2</sub>. Assim, a menos que estes outros gases sejam medidos concomitantemente ao CO<sub>2</sub>, as análises de espectroscopia de infravermelho devem ser tratadas com muita cautela. Se o método Pettenkofer fosse usado conjuntamente às medições de infravermelho para validação, então seria possível se ter maior segurança em relação aos resultados. Atualmente, as medições por espectroscopia registram concentrações de CO<sub>2</sub> próximas de resultados obtidos há 50 anos. Nesse sentido, não seria possível ter uma prova cabal de que as concentrações de CO<sub>2</sub> aumentaram ao longo desses 50 anos.

Ainda em relação à série de dados de Mauna Loa, alguns questionamentos recaem sobre sua confiabilidade. Em tese, a estação foi instalada no meio do oceano Pacífico para ficar longe das áreas industriais de emissão de CO<sub>2</sub>, que poderiam contaminar os dados. No entanto, Mauna Loa é um vulcão e emite grande quantidade de CO<sub>2</sub>, assim como outros vulcões havaianos. O próprio oceano pacífico é uma fonte colossal de emissão de CO<sub>2</sub>. Além disso, os dados brutos de Mauna Loa são selecionados por um operador que apaga o que for considerado um dado de má qualidade, o que em geral representa 82% das medições brutas, deixando apenas 18% delas para a análise estatística (PLIMER, 2009, p. 416-419, *apud* FELÍCIO e ONÇA, 2011, p. 1238, 1239).

---

<sup>30</sup> O terceiro relatório do IPCC dizia que somente as medições de CO<sub>2</sub> por espectroscopia de infravermelho são confiáveis, por isso as medições anteriores (via método de Pettenkofer) deveriam ser desconsideradas. No entanto, o IPCC nunca ofereceu uma justificativa plausível para adoção desse entendimento.

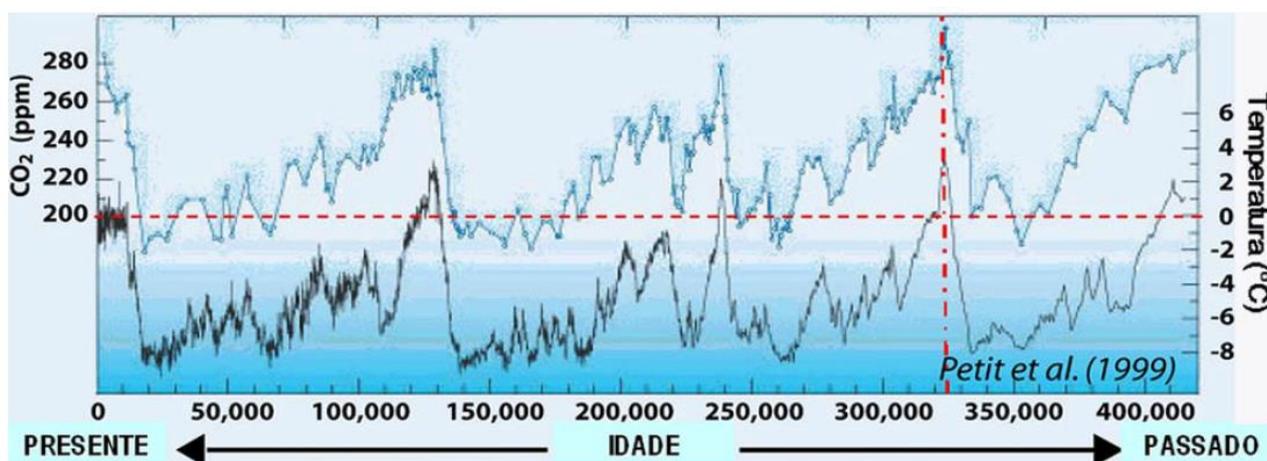
No que diz respeito às estimativas de concentração de CO<sub>2</sub> anteriores a 1957, obtidas das análises da composição química das bolhas de ar aprisionadas nos cilindros de gelo, também existem questionamentos em relação ao método. Segundo Jaworowski (2007, p. 41, 42), nunca foi demonstrado experimentalmente que os registros do núcleo de gelo representam de forma confiável a composição atmosférica original. Ele coloca que os valores de concentração de CO<sub>2</sub> detectados nesses testemunhos são cerca de 30% a 50% menores do que na atmosfera original e que os núcleos de gelo não podem ser considerados como um sistema fechado, sendo que o ar aprisionado nas bolhas é submetido a processos que promovem alterações em sua composição. Ressalta ainda que, caso as estimativas de CO<sub>2</sub> sejam assumidas como confiáveis, conclui-se que o aumento da temperatura ocorre antes do aumento do CO<sub>2</sub> e não o contrário. Ao longo de a história da natureza

Uma das principais publicações de análise de testemunhos de gelo, conforme expõe Molion (2008), foi de Petit et al, em 1999, promovendo um recuo de até 420000 anos na história passada. As amostras foram retiradas da capa de gelo na Estação de Vostok, Antártida, por perfuração profunda (superior a 3600 metros). A seguir, o Gráfico 18 mostra a evolução temporal da temperatura e da concentração de CO<sub>2</sub>, obtidas com os cilindros de gelo de Vostok. Tal como analisa Molion, a curva de temperatura apresentou 4 picos, superiores à linha de zero (tracejada), que representam os interglaciais passados (períodos mais quentes, com duração de 10 mil a 12 mil anos). Estes, separam as eras glaciais que, por sua vez, duram cerca de 100 mil anos cada uma (cerca de 130 mil, 240 mil, 320 mil e 410 mil anos antes do presente). Sendo assim, as temperaturas dos interglaciais passados parecem ter sido superiores às do presente interglacial, enquanto as concentrações de CO<sub>2</sub> correspondentes teriam sido inferiores a 300 ppmv.

Ao contrário do que postula o documentário de Al Gore se utilizando da figura acima, não é possível dizer que o CO<sub>2</sub> tenha provocado o aumento da temperatura. Segundo relata o próprio IPCC (2007, p. 444, 446 *apud* ONÇA, p. 2011, 122), as variações no CO<sub>2</sub> nos últimos 420 mil anos seguiram amplamente a temperatura antártica, tipicamente de vários séculos a um milênio. A sequência dos forçamentos e respostas climáticas durante as glaciações já está bem documentada: registros de alta resolução de geleiras de fontes indiretas de temperatura (deutério e oxigênio 18) e dióxido de carbono durante as deglaciações indicam que as temperaturas antárticas começaram a se elevar várias centenas de anos antes do CO<sub>2</sub>. A maioria das explicações postula mudanças em processos oceânicos como a causa principal.

Isso porque os oceanos, conforme expõe Onça, devido à sua enorme inércia térmica, demoram várias centenas de anos para responder às mudanças de temperatura induzidas por forçamentos astronômicos. Ao se aquecerem, eles liberam uma parte do CO<sub>2</sub> dissolvido em suas águas. A elevação das concentrações atmosféricas de CO<sub>2</sub> durante os interglaciais é, pois, consequência, e não causa do aquecimento, donde se conclui que não é esse gás controlador das mudanças paleoclimáticas. Em escalas de tempo de ciclos glaciais e interglaciais, coloca o IPCC (2007, p. 446 *apud* ONÇA, p. 2011, 122), o CO<sub>2</sub> é governado principalmente pela influência conjunta da circulação oceânica, atividade biológica marinha, interações entre sedimentos oceânicos, química de carbonatos e trocas entre atmosfera e oceano.

Gráfico 18 - Variação da concentração de CO<sub>2</sub> e dos desvios de temperatura (curva inferior) dos últimos 420 mil anos, obtidas dos cilindros de gelo da Estação de Vostok, Antártica.



Fonte: Petit *et al* (2009 *apud* MOLION, 2008)

Nesse sentido, as atuais concentrações elevadas de CO<sub>2</sub> não seriam resultados de emissões antropogênicas, mas sim reverberações de processos naturais, de peso muito maior, que governam esse gás. É com o que concordam Monte Hieb e Harrison Hieb (2006 *apud* Molion, 2008, p. 53). Para eles, mais de 97% das emissões de gás carbônico são naturais, provenientes dos oceanos, vegetação e solos, cabendo ao ser humano menos de 3%, total que seria responsável por uma minúscula fração do efeito estufa atual, algo em torno de 0,12%.

Segundo Molion (2008, p. 55, 56), não há comprovação de que o CO<sub>2</sub> armazenado na atmosfera seja originário de emissões antropogênicas. É afirmado que o CO<sub>2</sub> atmosférico tem aumentado a uma taxa anual de 0,4%, correspondendo a um incremento líquido de 3 GtC/ano, armazenadas na atmosfera. De acordo com o IPCC, somente as emissões por queima de combustíveis fósseis totalizariam 7 GtC/ano. Estima-se que os oceanos, por sua vez, absorvam 2 GtC anuais. Portanto, o balanço simplesmente não fecha, e ainda faltaria

encontrar o sumidouro das 2 GtC/ano restantes, fluxo esse que foi denominado na literatura “o carbono desaparecido”. A vegetação possivelmente seria a sequestradora desse carbono. Por outro lado, sabe-se que a solubilidade do CO<sub>2</sub> nos oceanos varia inversamente a sua temperatura. Ou seja, oceanos aquecidos absorvem menos CO<sub>2</sub> que oceanos frios. Como a temperatura dos oceanos aumentou ao longo do século XX, a concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico já poderia ser até superior à medida atualmente, considerando-se apenas as emissões antrópicas. Portanto, é possível que o fluxo de CO<sub>2</sub> absorvido pelos oceanos esteja sendo altamente subestimado. A literatura cita que o fluxo para dentro dos oceanos foi estimado em 92 GtC/ano. Um erro de 10% nessa estimativa corresponderia a uma fração três vezes maior que a que fica armazenada na atmosfera (3 GtC) anualmente.

Ante tudo que foi exposto até então, é possível dizer que, de fato, não há base científica para a sustentação da teoria do aquecimento global: se a Terra está se aquecendo, não parece ser possível saber ao certo quanto, pois os registros de temperatura disponíveis não permitem; ainda assim, nada garante a continuidade do aquecimento; os fatores (ou fator) que promovem este aquecimento, dada a complexidade e dinamismo do sistema climático, não podem ser discriminados ao certo, mas podem ser compreendidos dentro de uma hierarquia de poder; ao que tudo indica, o poder do CO<sub>2</sub> é pequeno frente ao de outros fatores, o que não permite sua consideração como um regulador climático, estando sujeito à atuação de forças muito maiores e poderosas, estas sim, controladoras do clima; se o CO<sub>2</sub> de fato está ocorrendo em concentração maior na atmosfera em todo o planeta, o ser humano contribui muito pouco com isso em meio a um contexto de fluxos naturais gigantescos que envolvem o ciclo do carbono; o emprego de MCGs na tentativa de reprodução dos registros de temperatura observados, com estimativa de forçamentos antropogênicos e naturais, não pode ser utilizado como evidência do aquecimento global. Em suma, não é possível colocar o ser humano como a causa do aumento da concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico, muito menos do aquecimento do planeta.

Por vezes o IPCC sugere concordância com isso, por exemplo, quando coloca que “os efeitos das incertezas, que podem ser consideráveis para alguns agentes tais como o Sol e os aerossóis, apesar dos avanços da pesquisa, permanecem difíceis de avaliar” (2007, p. 669 *apud* ONÇA, 2010, p. 229). Ou quando coloca que

Tanto a detecção quanto a atribuição requerem conhecimento da variabilidade climática interna nas escalas temporais consideradas, normalmente de décadas ou mais longas. No entanto, as estimativas de variabilidade são incertas

porque os registros instrumentais são muito curtos para dar uma estimativa bem restrita da variabilidade interna, e também devido a incertezas nos forçamentos e em suas respostas estimadas (2007, p. 667 e 668 *apud* ONÇA, 2010, p. 228).

Ou ainda que:

Há ainda uma compreensão física incompleta de muitos componentes do sistema climático e seu papel na mudança climática. As principais incertezas incluem aspectos dos papéis desempenhados pelas nuvens, a criosfera, os oceanos, o uso da terra e os acoplamentos entre o clima e os ciclos biogeoquímicos (IPCC, 2007, p. 21, tradução nossa).

Mas, contrariamente ao que poderia seguir-se daí, ao final, o Painel acaba sempre encampando a teoria do aquecimento global, mesmo apesar de todas suas fragilidades e incongruências, mesmo que em detrimento das inúmeras e significativas incertezas<sup>31</sup>. O cenário se coloca da seguinte forma: de um lado, inexistente uma base epistemológica consistente, capaz de prover, por si só, sustentação à teoria; do outro, existe uma vontade enorme, um grande afã, ou mesmo uma necessidade de que a teoria mostre-se veraz. O resultado não poderia ser diferente: recorre-se a uma série de argumentos falaciosos para afirmação da teoria.

## 5.2 Aspectos lógicos

O objetivo de um argumento é expor as razões (premissas) que sustentam uma conclusão. Nesse sentido, um argumento é falacioso quando parece que as razões apresentadas sustentam a conclusão, mas na realidade não são capazes de sustentar, de modo que essa sustentação deve ser garantida por outra via, passando por uma argumentação correta. Da mesma maneira que há padrões típicos, largamente usados, de argumentação correta, também há padrões típicos de argumentos falaciosos. A tradição lógica e filosófica procurou fazer um inventário e dar nomes a essas falácias típicas<sup>32</sup>(Downes, 1995). Como será visto a seguir, muitas dessas falácias típicas aparecem de forma recorrente na teoria do aquecimento global, sendo empregadas constantemente pelos aquecimentistas. Algumas

---

<sup>31</sup> No relatório completo do IPCC, as incertezas são bastante abordadas; no Sumário Técnico, um pouco menos. E no Sumário para Tomadores de Decisão, as incertezas centrais parecem não existir.

<sup>32</sup> O Guia das Falácias Lógicas de Stephen Downes lista uma série de falácias.

dessas falácias, colocadas por curiosos, simpatizantes da teoria, ambientalistas, ONGs, mídia em geral, e também cientistas, são refutadas pelo próprio IPCC, como já ficou evidenciado até aqui.

Antes, para fins de esclarecimento, vale deter-se rapidamente no termo falácia. Segundo Pedro Hispano (apud ABBAGNANO, 1971, p. 426), “falácia é a idoneidade fazendo crer que é aquilo que não é, mediante alguma visão fantástica, ou seja, aparência sem existência”. “A doutrina das falácias foi uma das partes mais cultivadas da lógica medieval, mas perdeu quase toda sua importância na lógica moderna” (ABBAGNANO, 1971). Essa perda de importância acompanhou a decadência da estrutura religiosa de pensamento e a ascensão e institucionalização da racionalidade científica como forma de pensamento predominante. Nos dias de hoje, segundo Simon (1997), falácia é entendida como qualquer erro de raciocínio, seguido de uma argumentação inconsistente. Considerando que um raciocínio pode falhar de inúmeras maneiras, as falácias foram classificadas em formais (tentativa de um raciocínio dedutivo válido, sem o ser) e informais (outro erro qualquer).

De início, é interessante citar os erros de raciocínio mais grosseiros envolvidos em alguns questionamentos feitos por aquecimentistas em direção àqueles que não concordam com o fato de que o ser humano estaria provocando o aumento da temperatura global. Não raro, como expõe Onça (2011, p. 40, 41), são feitos questionamentos do tipo:

Mas se a queima de combustíveis fósseis não aquece o planeta, então isso significa que eu posso jogar meu sofá no rio, posso derrubar toda a floresta amazônica, posso entupir as plantações de agrotóxicos, posso matar todos os animais, posso detonar todo o arsenal nuclear norte-americano, que nada disso tem efeito sobre a natureza?

Nota-se aí uma série de falhas argumentativas, que podem ser identificadas à luz de Downes (1995). Uma delas é a **conclusão irrelevante (ignoratio elenchi)**, uma vez que as diversas inferências realizadas não guardam relação nenhuma com a negação do aquecimento provocado pela queima de combustíveis fósseis, que é de fato a questão a ser confrontada e rebatida. Além disso, faz-se claramente um **apelo a preconceitos**, utilizando-se uma argumentação carregada emocionalmente para ligar valores morais lamentáveis à posição cética em relação ao aquecimento global. Uma vez que a posição cética é tomada como inaceitável, extraem-se o que supostamente seriam implicações inaceitáveis da adoção dessa

postura. Após a primeira implicação erroneamente extraída ou **derrapagem**, sucede-se uma série de outras implicações falsas numa verdadeira bola de neve.

Como expõe Onça (2011, p. 40, 41), “por que a afirmação de que queimar petróleo não provoca alterações climáticas deve equivaler a uma posição favorável à completa devastação ambiental?”. Esse raciocínio é absurdo e tem feito os céticos perderem tempo, energia e reputação, tentando justificar perante o público que a discussão sobre a verdade ou falsidade do aquecimento global antropogênico não tem qualquer relação com a existência ou inexistência de problemas ambientais. Ao que parece, para muitos ambientalistas, sua doutrina deve ser aceita em bloco, ou simplesmente não ser aceita, quer dizer: ou se acredita em tudo o que é pregado por eles ou então se entra para o bloco dos destruidores da natureza. Essa forma de pensamento, como sublinha a autora, é infinitamente mais próxima da religião do que da ciência. É uma postura que revela uma tendência reducionista de pensamento e uma rejeição ao pensamento complexo nos moldes do que demarca Morin (2005, p. 6).

Enquanto o pensamento simplificador desintegra a complexidade do real, o pensamento complexo integra o mais possível os modos simplificadores de pensar, mas recusa as consequências mutiladoras, redutoras, unidimensionais e finalmente ofuscantes de uma simplificação que se considera reflexo do que há de real na realidade (Morin, 2005, p. 6).

A mesma rejeição ao pensamento complexo é esboçada no famoso documentário “Uma Verdade Inconveniente”. Nele, coloca Maruyama (2009), a narrativa convincente de Al Gore, acompanhada de uma sequência de cenas impactantes, foi suficiente para deixar o público assustado. Mais recentemente, em seu novo documentário, “Uma Verdade Mais Inconveniente” (2017), Al Gore utiliza as mesmas táticas de convencimento nada científicas: são exibidas imagens do desmoronamento de geleiras sobre o mar; imagens de pessoas sofrendo por enfrentar ondas de calor, inundações, ciclones; faz-se claramente uma confusão entre poluição atmosférica e aquecimento global; vincula-se a disseminação do Zika vírus ao aumento da temperatura global. Entretanto, é razoável dizer que toda a gama de fenômenos abordados tem como causa o aumento do dióxido de carbono emitido em consequência de atividades humanas? Não, não é. Mas, para convencer o público que sim, como aponta Oliveira (2016, p. 253), pelo menos três falácias lógicas, catalogadas por Downes (1995), são empregadas nos documentários: o **apelo à força (argumentum ad baculum)** e **apelo às consequências (argumentum ad consequentiam)**, invocados por meio da enumeração de

uma série de consequências desagradáveis – como catástrofes ambientais - que se seguem caso o espectador discorde da hipótese; e o **argumentum ad populum**, que atinge as pessoas como um todo, flertando com os sentimentos de medo e de culpa, modelando assim a subjetividade dos indivíduos.

A depender da forma como assimilam os discursos enviesados, a visão subjetiva dos indivíduos em relação à ideia de aquecimento global pode ser construída de tal maneira que, por vezes, expressa-se num juízo quase que maniqueísta, conforme aborda Oliveira (2016, p. 255): aqueles que defendem a hipótese do aquecimento derivado de atividades antrópicas do lado do bem, do correto, contra aqueles que ficam do lado da hipótese do aquecimento por causas naturais representando o lado do mau, da perversidade. Tal perspectiva dualista, simplificadora do real, opõe aquecimentistas e céticos, revelando a falácia do **falso dilema**, pela qual, como explica Downes, é dado um número limitado de opções (na maioria dos casos, apenas duas) quando, de fato, há mais. É preciso lembrar que a teoria do aquecimento global é apenas uma teoria, pertencente a um grupo específico de teorias que versam sobre mudanças climáticas por meio de alterações na composição da atmosfera.

A fragilidade evidente da teoria, como demonstrado, decorre em grande medida da dificuldade ou até mesmo da impossibilidade de estabelecimento da relação entre o aquecimento e sua causa. Dessa forma, naturalmente a afirmação da teoria do aquecimento global está atrelada a uma série de falácias causais. Uma delas, já superada, é a do **depois disso, por causa disso (post hoc ergo propter hoc)**, quando se pressupõe, conforme Downes (1995) que, por uma coisa se seguir a outra, então aquela deve ser causada por esta, no caso do aquecimento atmosférico como consequência da elevação da concentração de CO<sub>2</sub>. Na verdade, o entendimento já consagrado (pelo próprio IPCC, inclusive) é de que o aumento da temperatura não segue, mas é seguido pelo aumento da concentração de CO<sub>2</sub>. A sustentação de que o segundo causaria o primeiro pode ser identificada com a falácia do **efeito conjunto**, uma vez que, de fato, ambos são o efeito de uma mesma causa subjacente, ou seja, da atuação de um ou mais fatores de regulação do clima.

Pode-se dizer também que outra falácia cometida é a da **causa complexa**, uma vez que o suposto aquecimento pode ser causado por diversos fatores, superiores hierarquicamente, num contexto em que a causa apontada, ou seja, o CO<sub>2</sub>, é apenas parte. Ou seja, é plausível que o aumento da concentração de CO<sub>2</sub> promova algum aquecimento, mas ele mostra-se pouco ou nada significativo, sendo apenas uma parte na complexa dinâmica do sistema climático. Da mesma forma, pode-se dizer que as contribuições antropogênicas para aumento

do CO<sub>2</sub> na atmosfera são apenas uma pequena parte, incapazes de provocar alterações macroclimáticas num cenário de fluxos naturais gigantescos (pouco conhecidos e precariamente estimados) que envolvem o ciclo do carbono, o que remete também à falácia da **causa genuína mas insignificante**.

Mas, sem dúvida alguma, os argumentos mais recorrentes empregados para sustentação da teoria do aquecimento global são o **apelo à autoridade (argumentum ad verecundiam)** juntamente com o **apelo à maioria**. Pode-se dizer que o próprio IPCC, de forma menos óbvia e revestida de um cientificismo aparente, usa essa tática sistematicamente quando, no Fifth Assessment Report (2013), para conferir maior legitimidade às suas interpretações e decisões, utiliza termos como “low agreement” (baixa concordância), “medium agreement” (média concordância) e “high agreement” (ampla concordância). Este último, por vezes é utilizado mesmo no caso em que as evidências disponíveis são consideradas limitadas, ao invés de médias ou robustas. Ou seja, por vezes o IPCC afirma que existe ampla concordância da comunidade científica sobre uma matéria específica, mesmo no caso de falta de evidências. Isso faz pensar que a existência de evidências, no final das contas, é algo menos importante para o IPCC. O importante, sim, é afirmação de sua ideia pré-concebida de funcionamento do sistema climático; é o apego à hipótese defendida.

Além disso, o apelo à autoridade empregado pelo IPCC também pode ser detectado, de forma mais sofisticada, na utilização dos modelos (MCGs) para afirmação do aquecimento global, como desvela Onça:

Mas se, conforme vimos, os modelos estão muito longe de representar com a requerida fidelidade o sistema climático, representando muito mais a ideia que seus elaboradores fazem do sistema climático – ou seja, eles não representam com segurança o mundo, mas a visão de mundo de seus idealizadores – segue-se daí que a atribuição da mudança climática está indissociavelmente condicionada à visão de mundo desses indivíduos. Em última instância, segundo este raciocínio de que a resposta está nos modelos (nestes modelos), conclui-se que a prova de que a mudança climática é de origem antrópica é que alguns cientistas dizem que ela é antrópica. É esse pavoroso coquetel de circularidade, petição de princípio e apelo à autoridade que constitui o sólido embasamento para as políticas determinantes de nossas vidas durante este século ONÇA (2011, p. 319).

A tácita **petição de princípio (petitio principii)** demonstrada acima, tal como explica Downes (1995), corresponde a uma falácia em que a verdade da conclusão é pressuposta pelas

premissas. Nesse sentido, a conclusão é apenas reafirmada nas premissas de uma forma ligeiramente diferente; os resultados dos modelos, obtidos com base nas premissas estabelecidas, são empregados para confirmar as próprias premissas.

De forma mais comum, o emprego do **apelo à maioria** e à **autoridade** pelos aquecimentistas em geral é perfeitamente retratado quando se diz que “há um amplo acordo entre os cientistas sobre as raízes antropogênicas do atual aquecimento global”, como coloca Leite (2010, p. 180).

Uma pesquisa de Naomi Oreskes (2004) examinou os resumos de 928 artigos publicados entre 1993 e 2003 com a palavra-chave “mudança climática global” e não encontrou nenhum trabalho explicitamente contrário ao aquecimento global antropogênico. Mais recentemente, Cook e colaboradores (2013) refizeram esse levantamento, examinando agora 11.944 resumos de trabalhos sobre “aquecimento global” ou “mudança climática global” submetidos a revisão pelos pares e publicados entre 1991 e 2011. Entre os trabalhos que expressaram uma posição sobre o aquecimento global antropogênico, 97,1% endossaram a posição que defende uma responsabilidade humana sobre as mudanças climáticas e 1,9% a rejeitaram. A discussão sobre este tema está, do ponto de vista dos climatologistas, encerrada (LEITE, 20 p. 660).

Em outras palavras, há uma compreensão explícita de que se muitas pessoas importantes acreditam numa ideia, então é irracional considerá-la falsa. Observa-se que uma vez que as evidências disponíveis contrariam sua hipótese, os aquecimentistas são forçados a sustentar suas crenças irreais apelando para a existência de um consenso entre os “maiores cientistas do mundo” a respeito da existência e da gravidade do aquecimento global. Mas este suposto consenso não é um critério válido para confirmação de uma teoria (ONÇA, 2011, p. 256). Não é um critério respaldado pela lógica nem pela história da ciência, como se verifica em Kuhn (1962), em sua obra “A Estrutura das Revoluções Científicas”.

Não obstante, muitos céticos questionam esse suposto consenso, colocando que muitos estudiosos do clima, embora não concordem, não se posicionam contrariamente à teoria do aquecimento global, seja porque não tem essa temática como foco de estudo (o que não resulta em publicações), seja porque não acham conveniente, uma vez que podem sofrer represálias de algum tipo no meio acadêmico (como cortes de financiamento para pesquisas). Maruyama (2008, p. 30) questiona a suposição de consenso tão firmemente estabelecido, inclusive, entre os próprios membros do IPCC, pois segundo ele “é impossível escrever um

relatório final que satisfaça os resultados de pesquisa de 4000 pessoas”. Não à toa, outra questão destacada por céticos é que é cada vez maior a debandada de cientistas do IPCC.

Segundo o último relatório da Minoria do Senado Norte-americano (UNITED STATES SENATE, 2010 apud FELÍCIO e ONÇA, 2008, p. 1192), em 2008, foram 650 cientistas que exigiram que seus nomes fossem removidos do Painel. Até 2011, a debandada atingiu mais de 1000. Muito provavelmente, episódios<sup>33</sup> como o caso da remoção de dúvidas do capítulo 8 do SAR (Second Assessment Report), envolvendo o processo de revisão por pares e Benjamin Santer em 1995<sup>34</sup>; o caso do taco de hóquei<sup>35</sup> em 2001, em que erros de programação fizeram desaparecer os contrastes do Optimum Climático Medieval e da Pequena Era do Gelo, substituindo-os por uma tendência mais linear; o escândalo em 2009 dos e-mails do Climate Research Unity, conhecido como “Climategate”<sup>36</sup>, que evidenciou práticas fraudulentas de cientistas aquecimentistas como manipulação proposital de dados, ocultamento de informações, tentativas de controle da produção científica dos céticos e outras; e o escândalo conhecido como Himalayagate<sup>37</sup>, em 2007, em que o grupo II do IPCC expos a previsão (com base em relatório da WWF) de que as geleiras do Himalaia enfrentariam um derretimento acelerado até 2035, tem contribuído para abalar o prestígio e reputação do IPCC.

Mas se para alguns esses episódios envolvendo o IPCC revelam uma abordagem grosseiramente enviesada, que tem por finalidade produzir confirmações do aquecimento global antropogênico, mesmo que para isso seja necessário negligenciar a boa prática científica, para outros não. Leite (2015, p. 661; 2011, p. 179), corroborando o entendimento de Oreskes e Conway, não classifica esses episódios (os três primeiros relatados acima) nem mesmo como controvérsias científicas, mas sim como iniciativas externas à comunidade de cientistas do clima, que tiveram eco na mídia, visando desqualificar o que os climatologistas chamam de ciência do clima. Os episódios são remetidos à agnotologia, termo que designa o estudo da negação da ciência com vistas a produzir a dúvida ou a ignorância (em oposição à epistemologia). Assim, os céticos, em linhas gerais, são comparados aos “mercadores da dúvida”<sup>38</sup>, como aqueles cientistas financiados pelas indústrias do tabaco para lançar dúvidas

---

<sup>33</sup> Relatados em LEITE (2015, p. 661).

<sup>34</sup> Relatado em ONÇA (2011, p. 342).

<sup>35</sup> Relatado em ONÇA (2011, p. 292).

<sup>36</sup> Relatado em ONÇA (2011, p. 308, 309, 350).

<sup>37</sup> Relatado em ONÇA (2011, p. 287).

<sup>38</sup> “Merchants of doubt:” é um livro que, colocando-se na perspectiva da agnotologia, procura reposicionar a forma como são tratados os debates e as controvérsias na ciência do clima. A partir dele também foi feito um documentário de mesmo nome em 2014.

sobre as pesquisas que estabeleciam a conexão entre o tabaco e o câncer. Só que os céticos da mudança climática seriam patrocinados, por exemplo, por setores empresariais do ramo de combustíveis fósseis ou da produção de cimento, para os quais restrições às emissões de CO<sub>2</sub> não seriam bem vindas em princípio.

Esses **ataques pessoais** (*argumentum ad hominem*), com base Downes (1995), a que são submetidos os céticos<sup>39</sup> não são argumentos logicamente válidos se não combatem os argumentos de fato a serem confrontados, tratando-se de uma falácia argumentativa. Em vez de atacar a afirmação, como explica Downes (1995), o argumento ataca a pessoa que a proferiu, aponta para as circunstâncias em que a pessoa fez a afirmação, ou procura destacar que a pessoa não pratica o que diz. Esses aspectos certamente devem ser observados em algumas análises, tal como para a temática aqui discutida, o que pode conferir maior ou menor credibilidade à argumentação de um cientista, mas não pode, logicamente, invalidar seus argumentos.

Por fim, aborda-se aqui um caso especial de falácia argumentativa aplicada na defesa da teoria do aquecimento global: o **princípio da precaução**<sup>40</sup>. O apelo ao princípio é, seguramente, um dos principais argumentos empregados para afirmar a teoria e legitimar os acordos e ações de suposto combate ao aquecimento global. Mas, para muito além disso, como expõe Setzer (2007, p. 99, 100), este princípio constitui uma base para o direito ambiental internacional, embora careça de uma definição clara e universalmente aceita<sup>41</sup>. De fato, em princípio, como coloca Onça (2011, p. 44), não há nada de errado na tentativa de prevenir riscos à saúde humana e ao meio ambiente. Em muitos aspectos, expressa Sustain (2003, p. 17, 22, 27), o princípio da precaução parece bastante razoável e até mesmo atraente. Sua versão mais cautelosa e fraca é tão importante quanto irrepreensível. Sua função não deve ser menosprezada.

Para justificar a regulação, a certeza de dano não deve ser exigida; um risco, até mesmo baixo, pode ser suficiente. Faz sentido gastar recursos para prevenir mesmo uma chance pequena de desastre; pense, por exemplo, na grande quantidade de recursos, não apenas pecuniários, que são investidos para prevenir atentados

---

<sup>39</sup> Da mesma forma que os céticos recebem diversos ataques pessoais, os aquecimentistas também. É interessante sublinhar que ambos os grupos, por assim dizer, tanto promovem quanto recebem ataques pessoais de maneira a desqualificar os argumentos do adversário.

<sup>40</sup> O princípio da precaução foi citado na página 74 deste trabalho (essa versão, expressa na Rio 92, corresponde ao que se poderia chamar de uma versão mais fraca e cautelosa do princípio).

<sup>41</sup> Com efeito, existem mais de 20 definições em textos jurídicos, e não há consenso entre estados e membros da comunidade internacional quanto ao seu significado. Sua definição continua subjetiva e ambígua (SETZER, 2007, p. 101).

terroristas. Em condições razoáveis, é válido despende esses recursos mesmo se a probabilidade de dano, em casos individuais ou mesmo no total, for relativamente baixa. O princípio da precaução pode ser visto como um apelo por um tipo de seguro regulatório. Certamente, o princípio pode fazer algum bem ao mundo real, estimulando governos a enfrentar problemas negligenciados (SUSTEIN, 2003, p. 17).

O problema, porém, é quando o princípio é apontado em sua versão mais forte, mais agressiva, como determinando que a regulação será necessária sempre que existir um “risco possível”<sup>42</sup> à saúde, à segurança ou ao meio ambiente, ainda que os elementos de prova sejam especulativos e que os custos econômicos da regulação sejam elevados. Além disso, o princípio também inverte o ônus de prova, que passa a caber ao proponente da atividade. Nesse caso, em que se insere a hipótese de aquecimento global antropogênico (tal como defendida pelos aquecimentistas), o princípio não é capaz de oferecer qualquer tipo de orientação; não é útil. É, pelo contrário, paralisante: ele se põe como um obstáculo tanto à regulação quanto à não regulação, bem como a qualquer ponto intermediário entre as duas. A precaução apregoada é violada tanto pela regulação como pela não regulação (SUSTEIN, 2003, p. 28, 31, 34, 35, 39).

Na realidade, o princípio da precaução (nessa versão) só fornece orientação prática (tal como para os aquecimentistas) quando se está cego para muitos aspectos de situações de risco relacionadas ao problema, focado somente num mero subconjunto dos perigos que estão em jogo. Nessa perspectiva estreita é possível negligenciar ou ignorar alguns dos riscos que efetivamente estão presentes e promover o alcance de determinados objetivos (como o de economias de baixo carbono em países subdesenvolvidos pela substituição em larga escala de matrizes energéticas convencionais por alternativas). No entanto, o princípio da precaução é um meio cruel de promover esses objetivos, que deveriam ser perseguidos diretamente (ou seja, sem apelo a ele, por meio de evidências científicas) (SUSTEIN, 2003, p. 14, 68).

O que há de nefasto no princípio da precaução é a maneira pela qual é interpretado pela ciência e pelo movimento ambientalista na atualidade, como evidenciado por Paul Driessen no documentário *The great global warming swindle*: “O princípio da precaução é sempre usado num único sentido. Ele aborda os riscos do uso de uma determinada tecnologia, mas nunca os riscos de não usá-la. Estão todos amedrontados pela possibilidade de danos ambientais provocados pela queima de combustíveis fósseis, mas ninguém se preocupa com

---

<sup>42</sup> A ideia de risco possível é entendida aqui como exigindo certo patamar mínimo de plausibilidade científica (SUSTEIN, 2003, p. 28, 29).

os danos ambientais e sociais provocados pela falta de acesso a essas tecnologias (ONÇA, 2011, p. 44).

Deveria ser fácil perceber que, à sua maneira, uma regulação estrita (tal como se pretende fazer em relação à emissão de CO<sub>2</sub>) entraria na verdade em conflito com o princípio da precaução, dado os danos advindos de seu estabelecimento (SUSTEIN, 2003, p. 34). Mas, em verdade, o princípio da precaução consiste num argumento mais difícil de ser refutado, pois envolve os medos mais íntimos do ser humano: a morte, o futuro, a mudança (ONÇA, 2011, p. 43). Ele dá uma falsa impressão de ser funcional graças a mecanismos cognitivos identificáveis, o que induz a visão do aquecimento global de forma estreita e não abrangente. O entendimento generalizado de que esse princípio pode e deve guiar decisões regulatórias passa pela compreensão da racionalidade e percepção humanas<sup>43</sup> (SUSTEIN, p. 17, 18, 68). Da mesma forma, essa compreensão é importante para entender os aspectos ideológicos possivelmente embutidos na teoria do aquecimento global.

### 5.3 Aspectos Ideológicos

Nesta seção, finalmente, empreende-se uma tentativa de exposição e discussão de possíveis explicações do porque de a teoria do aquecimento global ter alçado um voo tão alto, construindo e mantendo um status quo de verdade absoluta, ainda que alicerçada numa base científica frágil. Esse status é garantido pelo suposto consenso científico existente sobre a afirmação da teoria, pelo qual se faz notar toda a credibilidade e poder da ciência junto à sociedade. Como expõe Chalmers (1993, p. 28) algumas das impressões popularmente mantidas a respeito do caráter impar da ciência, seu certo poder de explicação e previsão, sua objetividade total e confiabilidade superior, condizem com uma visão ingênua e negligente dessa forma de conhecimento. Segundo essa visão ingênua de ciência, com a qual não se flerta aqui, devendo ser absolutamente descartada, a teoria do aquecimento global poderia ser explicada de acordo com a Figura 11.

---

<sup>43</sup>Cinco indícios úteis nessa compreensão, abordados em Sustain (2003, p.17-21) são: aversão à perda; o mito da natureza benevolente; a heurística da disponibilidade; a indiferença quanto à probabilidade; indiferença quanto aos efeitos sistêmicos.

Figura 11 - Sumário do indutivista ingênuo.



Fonte: Adaptado de CHALMERS (1993, p. 23)

Este esquema simplificado busca ilustrar uma leitura ingênua do conhecimento científico, que considera o raciocínio indutivo existente na afirmação da teoria do aquecimento global como ancorado unicamente em dados ou fatos inquestionáveis, adquiridos através da observação. Uma vez que a teoria é afirmada de acordo com a base indutiva, posteriormente depreende-se uma série de respostas por meio de processo dedutivo.

De acordo com o indutivista ingênuo, a ciência começa com a observação. O observador científico deve ter órgãos sensitivos normais e inalterados e deve registrar fielmente o que puder ver, ouvir, etc, em relação ao que está observando, e deve fazê-lo sem preconceitos. Afirmações a respeito do estado do mundo, ou de alguma parte dele, podem ser justificadas ou estabelecidas como verdadeiras de maneira direta pelo uso dos sentidos do observador não preconceituoso. As afirmações a que se chega (vou chamá-las de proposições de observação) formam então a base a partir da qual as leis e teorias que constituem o conhecimento científico devem ser derivadas (CHALMERS, 1993, p. 19).

O raciocínio indutivo<sup>44</sup> é entendido como aquele em que, se as premissas forem verdadeiras, a conclusão será apenas provavelmente verdadeira. Também pode ser entendido como a derivação de uma teoria a partir de um conjunto de proposições feitas com base em observações singulares, levando a uma afirmação universal. Quanto maior for o número de observações formando a base de uma indução e maior a variedade de condições sob as quais essas observações são feitas, maior será a probabilidade de que as generalizações resultantes

<sup>44</sup> Por raciocínio indutivo aqui, entende-se o procedimento que leva do particular ao universal; o procedimento por meio do qual parte-se de elementos indícios e extrapola-se para uma conclusão geral. Vale ressaltar que não se pretende afirmar aqui que a teoria do aquecimento global deve ser compreendida de acordo com uma compreensão indutivista da ciência.

sejam provavelmente verdadeiras, ou seja, mais forte será a indução<sup>45</sup>. Assim, sob essa perspectiva (ingênua), o corpo do conhecimento científico seria construído pela indução a partir da base segura fornecida pela observação (CHALMERS, 1993, p. 19, 22, 34). Quando se trata da teoria do aquecimento global, segundo Molion (2008, p. 1) haveriam três argumentos principais, já discutidos anteriormente<sup>46</sup>, que fundamentam sua afirmação: a série de temperatura média global do ar na superfície “observada” nos últimos 150 anos, o aumento observado na concentração de CO<sub>2</sub> a partir de 1958 e os resultados obtidos com modelos numéricos de simulação de clima (MCGs). Esses argumentos são assumidos aqui como os principais fatos observados ou premissas que comporiam a base de indução da teoria. O esquema anterior é agora atualizado na Figura 12 a seguir.

Uma vez assumida a validade da teoria, explica Chalmers (1993, p. 24), é possível derivar dela várias consequências, que servem como explicações e previsões. Neste processo estaria implicado o raciocínio dedutivo, ou raciocínio lógico. Se as premissas (incorporadas na teoria) de uma dedução logicamente válida são assumidas como verdadeiras, então as conclusões devem obrigatoriamente ser verdadeiras<sup>47</sup>. Algumas das principais consequências derivadas da teoria do aquecimento global, segundo Marengo (2001, p. 2) já percebidas nos dias atuais, são: aumento do nível do mar, alteração no suprimento de água doce, tempestades de chuva e neve mais fortes e mais frequentes, forte e rápido ressecamento do solo devido a períodos secos mais intensos. Artaxo (2015, p. 11) cita ainda o derretimento de geleiras, a perda de gelo no oceano Ártico, as alterações biológicas em migrações de espécies, a acidificação dos oceanos. Assumindo-se que isso tudo está ocorrendo de fato e que o ser humano tem papel significativo aí, uma derivação bastante plausível é que a emissão de CO<sub>2</sub> proveniente das atividades humanas deve ser reduzida, o que evitaria o aquecimento excessivo do planeta e mitigaria todas essas consequências.

---

<sup>45</sup> O contrário também é verdadeiro, sendo a indução fraca. É o que se defende aqui para a teoria do aquecimento global. Por exemplo, no que se refere aos registros instrumentais de temperatura por estações meteorológicas de superfície, a distribuição espacial esparsa das estações meteorológicas de superfície pelo mundo, bem como o curto espaço de tempo para o qual se dispõe de registros (instrumentais), não possibilita uma indução forte acerca do aquecimento global.

<sup>46</sup> O tópico deste trabalho intitulado “Aumento da Temperatura Média Global e Interferência Antrópica” (p. 78) buscou justamente discutir o que seriam os principais fundamentos que compõem o que se entende pela base indutiva da teoria.

<sup>47</sup> Ainda que uma dedução seja logicamente válida, a verdade ou não das premissas (ou seja, a correspondência destas com o mundo real) não pode ser assegurada pela lógica.

Figura 12 - Sumário do indutivista ingênuo com as devidas substituições.



Fonte: Adaptado de CHALMERS (1993, p. 23)

O esquema utilizado não pretendeu esgotar ou listar todos os argumentos componentes da base indutiva da teoria do aquecimento global. Em relação às consequências e previsões, que podem ser inúmeras, só foram listadas algumas. É interessante observar como algumas consequências e previsões estipuladas pela teoria, uma vez supostamente verificadas ou confirmadas na realidade, são utilizadas para fortalecer as bases de indução, conferindo mais robustez e credibilidade a ela.

Mas, como já dito, conforme Chalmers (1993, p. 28, 44, 45, 50), este esquema ilustrado está associado a uma visão ingênua de ciência, calcada na interpretação de que tanto a observação quanto o raciocínio indutivo são, eles mesmos, objetivos; de que proposições de observação podem ser igualmente averiguadas por qualquer observador, contanto que feitas pelo uso normal dos sentidos; de que não é permitida a intrusão de nenhum elemento pessoal, subjetivo; de que a validade das proposições de observação, quando corretamente alcançada, não vai depender do gosto, da opinião, das esperanças ou expectativas do observador, sempre não preconceituoso e imparcial; enfim, de que as induções satisfazem ou não as condições prescritas, não havendo espaço para subjetividade e parcialidade.

O que ocorre, na realidade, explica o autor, é que o raciocínio indutivo, bem como o dedutivo, envolvem o relacionamento entre vários conjuntos de afirmações, entre várias teorias que são assumidas previamente como confiáveis ou seguras. Contrariamente ao que alguns podem pensar, teorias sempre precedem as observações realizadas, influenciando tanto as proposições de observação formuladas como as interpretações dos dados coletados. Essas

teorias podem envolver diversos graus de generalidade e sofisticação. Em relação à teoria do aquecimento global, um pressuposto teórico fundamental, que pode ser facilmente apontado, é a própria ideia de efeito estufa, já discutida, sem a qual a tese do aquecimento global não se sustentaria. Mas nem todas as crenças, pressupostos, teorias e ideologias inerentes à teoria do aquecimento global podem ser identificados de forma tão evidente. É o que revela Onça (2011). E é o que sugere a Figura 13 a seguir, novamente atualizada.

Figura 13 - Sumário com as devidas substituições.



Fonte: Adaptado de CHALMERS (1993, p. 23)

Este esquema modificado procura representar uma visão da teoria do aquecimento global compatível com um entendimento um pouco mais complexo da ciência, mais condizente com a realidade da produção científica. As áreas escuras sugerem que, por detrás da teoria e de suas premissas mais facilmente identificáveis, permeiam-se uma série de pressupostos, teorias, crenças, ideologias, explicitamente assumidas ou não, mais ou menos acessíveis, intimamente relacionadas à cultura e/ou natureza humanas.

O grau de impregnação de determinadas crenças<sup>48</sup> em uma teoria científica pode ser tão elevado e infundado que pode levá-la ao distanciamento do rótulo de ciência, entendida

<sup>48</sup> Por crença, aqui, entende-se a adesão a uma noção qualquer, a qualquer título dado e para todos os efeitos possíveis. É entendida como noção de compromisso de conduta, que pode ou não ter validade objetiva. Portanto, podem ser chamadas de crenças as convicções científicas tanto quanto as confissões religiosas, o reconhecimento de um princípio evidente ou de uma demonstração, bem como a aceitação de um preconceito ou de uma superstição (ABBAGNANO, 1971, p. 218, 533)

como forma de conhecimento pautada na avaliação e revisão crítica, na imparcialidade; capaz de oferecer, como coloca Abbagnano (1971, p. 136), “em qualquer forma ou medida, uma garantia da própria validade”. Esse distanciamento do rótulo de ciência pode ser tal que, na verdade, uma teoria científica se aproxime muito mais apenas de uma pseudociência ou de uma ideologia, dado seu grau de imersão no campo do sentimento e da fé, tal como sublinhou Pareto (apud Abbagnano, 1971, p. 532)<sup>49</sup>. Nesse sentido, a questão fundamental para diferenciar a ciência da não ciência, demarcando o saber científico, é determinar quais as crenças são epistemicamente justificadas (FULLER, 1985, p. 331 apud Hanson, 2018, p. 3). No que tange à teoria do aquecimento global, já foi defendido que muitas das crenças que a compõe não podem ser consideradas justificadas epistemicamente. Algumas outras crenças, presentes de forma velada, parecem menos ainda poderem ser consideradas dessa forma.

De acordo com o que expõe ONÇA (2011, p. 49), ao longo da história do ocidente, verifica-se que um dos temas dominantes em filosofia da natureza é a crença de que o universo, o sistema solar e a Terra são perfeitos demais para a existência da vida para terem acontecido por mero acaso. Vinculada a esta crença, está aquela de que o universo deve ser resultado de uma criação intencional e é necessariamente a realização de uma ordem divina. Pode-se dizer que tanto a tradição greco-romana quanto a judaico-cristã imaginam uma ordem na natureza ditada pela divindade e, grosso modo, encontram a prova disso na notável adequação da Terra como habitat de suas espécies. Ocorre que com o advento da ciência moderna, estas ideias se tornaram menos manifestas, menos acessíveis, obscurecendo a ideia de ordenação divina, antes mais explícita e imediata verificada; a partir de então, o objetivo da ciência seria compreender o funcionamento do universo, as regras que governam os fenômenos observados, sem se perguntar sobre o porquê dessas regras, afastando-se assim da metafísica e da religião. Ainda assim, o encantamento com a organização da natureza e as especulações para sua explicação no fundo nunca desapareceram da ciência ocidental.

Conforme Onça, (2011, p. 67), a hipótese do aquecimento global aparece como um caso emblemático da persistência desses pressupostos metafísicos sobre a estabilidade e perfeição da natureza na ciência moderna. Nessa teoria, esses pressupostos se manifestam de forma bastante vigorosa, porém camuflados pelo aparato científico-tecnológico que permeia a sociedade atual. A elevação da “temperatura média global” nos últimos 150 anos é tratada

---

<sup>49</sup> Em Pareto, a noção de ideologia, corresponde à noção de teoria não-científica, entendendo-se por esta última qualquer teoria que não seja lógico-experimental. Pareto sustentava que ciência e ideologia pertencem a dois campos separados, que nada tem em comum: a primeira ao campo da observação e do raciocínio, a segunda ao campo do sentimento e da fé (apud Abbagnano, 1971, p. 532).

pelo IPCC como antinatural, contrária, portanto, à perfeita ordenação e equilíbrio do sistema climático, o que só poderia ocorrer em consequência da interferência destrutiva da humanidade. Ou seja, se ocorreu uma alteração no “equilíbrio natural climático” isso só pode ser resultado da “interferência humana”.

Não à toa, na década de 70, devido à redução das temperaturas recentes verificadas (desde a década de 40), o mundo amedrontou-se diante da hipótese do resfriamento global, tendo sido formuladas teorias que imputavam ao homem a responsabilidade de sua ocorrência. Mas, cabe perguntar: “as atividades antrópicas não lançam gases que aquecem o planeta? Sim, mas também lançam aerossóis de enxofre e fuligem, que refletem a radiação solar incidente de volta para o espaço, contribuindo assim para o resfriamento do planeta”. De forma similar, muitos cientistas de renome da época (e que hoje advogam em favor da causa do aquecimento global), clamaram por ações para diminuição da emissão desses aerossóis na atmosfera, de modo a evitar a catástrofe bastante provável de um evento geofísico sem paralelo: o advento da primeira glaciação antropogênica (ONÇA, 2011, p. 67, 68).

Se o planeta esfria, pois, é culpa do homem, e se aquece é culpa do homem também. A natureza, em perfeito equilíbrio na ausência de intervenções humanas, possui um termostato maravilhosamente regulado para os propósitos humanos, basta não interferirmos. A atmosfera imperturbada regula a temperatura ideal do planeta, especialmente designada para manter o conforto térmico dos seres humanos. Afinal de contas, foi para os seres humanos que este planeta foi criado... (ONÇA, 2011, p. 68).

De um lado percebe-se a crença na estabilidade da natureza e do outro a supervalorização do homem como elemento capaz de provocar mudanças climáticas em larga escala<sup>50</sup>. Percebe-se também a manifestação de uma inclinação que parece ser comum a qualquer ser humano: a aversão à perda, como coloca Sustain (2003, p. 18). Ante a iminência de um potencial risco desconhecido, não familiar, perturbar o suposto ordenamento natural das coisas, na maioria das vezes prioriza-se a ação no sentido de combater o inimigo, negligenciando-se possíveis consequências danosas advindas desse mesmo combate. E os homens da ciência, como expõe Pracontal (2001, p. 26), por vezes não estão mais bem

---

<sup>50</sup> Não à toa, segundo expõe Artaxo (2014, p. 15), “desde os anos 80, alguns pesquisadores começaram a definir o termo Antropoceno como uma época em que os efeitos da humanidade estariam afetando globalmente nosso planeta”.

preparados que qualquer outro contra a tentação de tomar seus desejos pela realidade. Assim, se dispõe a combater aquilo que ninguém gostaria que houvesse: uma mudança climática.

Mas, como este planeta é uma máquina, podemos consertar as peças defeituosas. No caso em questão, a peça defeituosa é a composição atmosférica, que se encontra com excedentes de gases estufa: o conserto então é simples e consiste no sequestro de carbono, em remover este excedente e evitar uma nova acumulação. Para tanto, é necessário reduzir o corte de árvores e reflorestar as áreas desmatadas, que através da fotossíntese sequestrarão o dióxido de carbono atmosférico: reduzir a queima de combustíveis fósseis e estimular o uso de biocombustíveis e outras fontes (como as energias eólica e solar), que não adicionam dióxido de carbono à atmosfera; reduzir o consumo de energia elétrica quando esta for obtida por termelétricas e hidrelétricas (ou seja, praticamente toda a energia elétrica do planeta); e finalmente trabalhar intensamente a conscientização ambiental dos homens, para que não voltem a adulterar as peças do planeta-máquina. Basta esta grande obra de engenharia para que as temperaturas do planeta voltem ao seu estado atual de equilíbrio – e não mais se alterem até que produzam uma nova interferência humana (ONÇA, 2011, p. 68).

Vinculada a essas crenças está também o mito da natureza benevolente ou a falsa crença de que a natureza é essencialmente boa, o que conduz as pessoas a acreditarem que sua segurança e sua saúde estão em risco, na maioria das vezes, devido à intervenção humana, quase sempre maléfica, perturbadora que é da ordem natural das coisas (SUSTEIN, 2003, p. 18, 19). Mas o que ocorre de fato é que a natureza não é propriamente boa ou má. Qualquer imputação desse tipo de característica à natureza só é possível de ser feita segundo juízos de valor que partem do ser humano. Com isso, não se pretende negar que a natureza possa ser em si mesma bela, útil e generosa, mas tão somente de sublinhar que ela não o é de forma voluntária e constante, como seria a divindade da Mãe-Natureza na qual muitos acreditam. As filosofias da não intervenção pressupõe a sacralização da harmonia natural do mundo, o que é um otimismo metafísico que nada pode justificar (FERRY, 2009, p. 226 *apud* ONÇA, 2011, p. 358).

Um outro viés que aparece no discurso por detrás da teoria do aquecimento global é a noção de que, de fato, o mundo está prestes a acabar, tamanho é o grau de interferências destrutivas e mudanças que o ser humano está provocando no clima terrestre. Essa concepção de fim dos tempos, de fim da história, permite que a teoria do aquecimento global seja

atrelada à teorias escatológicas<sup>51</sup>, que a humanidade produz ou ressuscita de tempos em tempos, e que ganham maior ou menor adesão a depender das condições de contorno. Há aí, como sublinha Baptista (2009 apud FELÍCIO, 2014, p. 261), uma ideia de catastrofismo, severidade dos fenômenos, fim do mundo, mudanças drásticas e outros titãs da Grécia Antiga. E esse catastrofismo, salientam Oliveira et al (2015, p. 287-310), domina o discurso público e constitui a maneira predominante pela qual as pessoas reagem às mudanças climáticas: preocupadas, amedrontadas, apavoradas.

As reações e comportamentos das pessoas em relação ao discurso dominante associado à teoria do aquecimento global remetem-nos a um aspecto fundamental de uma ideologia. Tal como apontou Pareto (apud Abbagnano, p. 532, 533), uma ideologia tem como função primeira persuadir, dirigir a ação. Ela pode ser entendida como crença usada para o controle dos comportamentos coletivos. Nesse sentido pode ser vista como ideologia tanto uma crença fundada em elementos objetivos quanto uma crença totalmente infundada, tanto uma crença realizável quanto uma crença irrealizável. O que transforma uma crença em ideologia (diferente do que deve ocorrer com a ciência, em que as crenças devem ser epistemicamente justificadas), de fato, não é sua validade ou falta de validade, mas simplesmente sua capacidade de controlar e dirigir o comportamento dos homens em determinada situação, tal como atua a teoria do aquecimento global.

De acordo com Therborn, (1991, p. 15 apud OLIVEIRA, 2016, p. 254), alguns dos aspectos fundamentais dos processos ideológicos são seus modos de interpelação na medida em que submetem/qualificam os sujeitos. Dessa forma, existiriam três modos fundamentais de interpelação ideológica na medida em que a ideologia diz aos sujeitos e os faz reconhecer (1) o que existe e o que não existe; (2) o que é bom, correto, justo e seus contrários; e (3) o que é possível e impossível. Estes modos de interpelação, como sublinha Oliveira (2016, p. 254), aparecem tanto implícita quanto explicitamente nos discursos associados à teoria do aquecimento global. Isso pode ser bem visualizado a seguir em trecho do relatório da UNFPA (Fundo de População das Nações Unidas), agência de desenvolvimento internacional da ONU que trata de questões populacionais.

---

<sup>51</sup> Escatologia é um termo moderno que indica a parte da teologia que considera as fases "finais" ou "extremas" da vida humana ou do mundo: morte, juízo universal, pena ou castigo extraterrenos e fim do mundo. Os filósofos usam às vezes esse termo para indicar a consideração dos estágios finais do mundo ou do gênero humano (ABBAGNANO, 1983, p. 344)

Sem interromper o aumento das emissões globais de gases de efeito estufa e, em seguida, reduzi-las rapidamente, a adaptação à mudança climática se tornará um desafio sem fim - e talvez impossível. O esforço para construir nossa resiliência às mudanças climáticas não pode desviar a atenção da necessidade de reduzir as emissões o mais rápido possível, a partir de agora. Mas isso requer uma mudança no comportamento humano e uma nova mentalidade sobre a maneira como lidamos com nosso ambiente individualmente, coletivamente, localmente, regionalmente e globalmente. Mesmo os criticamente necessários primeiros sucessos na redução de emissões serão um prelúdio para uma tarefa que provavelmente preocupará a humanidade por décadas, até mesmo séculos: prosperar globalmente, ao mesmo tempo em que impede que as atividades humanas enviem a atmosfera global e o clima para fora da faixa da habitabilidade humana (UNFPA, 2009, p. 65, tradução nossa).

De forma ainda mais direta que no trecho acima, o relatório da UNFPA sublinha que “a mudança climática é sobre pessoas. As pessoas causam mudanças climáticas. As pessoas são afetadas por isso. As pessoas precisam se adaptar a isso. E apenas as pessoas têm o poder de pará-lo” (UNFPA, 2009, p. 1, tradução nossa). Nota-se aí claramente como os sujeitos são interpelados: (1) o que existe é uma grave mudança climática em curso, causada pelo existente poder de interferência do ser humano no meio ambiente, que perturba a regularidade e equilíbrio existentes no sistema climático; (2) o correto é que seja freado ao máximo possível as emissões de gases estufa, o que passa por mudanças de comportamento a serem adotadas por todos aqueles que são corretos e querem um presente e futuro melhor para a humanidade e para o planeta; (3) o impossível é não agir diante das implicações perigosas que o aquecimento global impõe ao planeta.

No que se refere às ações a nível nacional, sabe-se que os países industrializados criaram a maior parte do problema do aquecimento global. No entanto, as emissões de alguns grandes países em desenvolvimento estão crescendo rapidamente como resultado de sua industrialização intensiva em carbono e da mudança nos padrões de consumo, bem como seu atual crescimento demográfico. E são justamente os países mais pobres do mundo que enfrentarão os maiores problemas para se adaptarem ao devir das mudanças climáticas. E, se o mundo quiser evitar mudanças climáticas perigosas, pode haver pouco espaço na atmosfera para os países pobres se desenvolverem economicamente através dos mesmos padrões de energia intensivos em carbono nos quais os países industrializados se balizaram para seu próprio desenvolvimento nos últimos dois séculos (UNFPA, 2009, p. 1, 5, tradução nossa).

Dessa forma, estão postas as pretensões de um controle que não só se faz desejável, mas sim necessário. Elas aparecem de forma bem clara: os países pobres não devem utilizar fontes de energia tradicionais, baseadas em combustível fóssil, tal como fizeram os ricos para alcançar as condições em se que encontram, pois assim irão contribuir com as mudanças climáticas em curso, as quais acarretarão as piores consequências justamente sobre eles, pelas dificuldades de adaptação (visto que são pobres). E as pessoas desses países devem regrar seu comportamento de maneira a não compactuar com a utilização de tecnologias enquadradas como não sustentáveis de acordo com o apregoado pela teoria do aquecimento global, inclusive pressionando seus governos para a adoção de políticas energéticas mais adequadas, direcionadas para a priorização de fontes alternativas de energia, tais como a eólica e a solar. Em verdade, não só os países pobres e sua população devem fazer isso, mas sim os países de todo o mundo, inclusive os desenvolvidos. A solução para a questão das mudanças climáticas passa obrigatoriamente pela implementação da política econômica da sustentabilidade. Mas essa solução para o problema climático parece se apresentar também por vezes como a própria solução para os problemas socioeconômicos do mundo de forma geral.

Essa impressão procede quando se observa como a questão do aquecimento global pode ser e é vinculada à explicação de boa parte das mazelas no mundo, tal como um fluido que se adapta a qualquer forma dada. De acordo com as conclusões do relatório<sup>52</sup> do Fórum Humanitário Global de Genebra (GHF, 2009, p. 1, 3) as mudanças climáticas constituem o maior desafio humanitário emergente do nosso tempo. A cada ano, a mudança climática deixa mais de 300 mil pessoas mortas, 325 milhões de pessoas seriamente afetadas. As mortes aumentarão para cerca de 500 mil em 20 anos. As perdas econômicas devido à mudança climática atualmente somam mais de US\$ 100 bilhões por ano, o que é mais do que os PIBs nacionais individuais de três quartos dos países do mundo. Este valor constitui mais do que o total de toda a Assistência Oficial ao Desenvolvimento num determinado ano. Mais de nove em cada dez mortes estão relacionadas à degradação ambiental gradual devido à mudança climática - principalmente desnutrição, diarreia, malária, com as mortes restantes sendo ligadas a desastres relacionados ao clima provocados pelas mudanças climáticas. Estas trazem fome, doenças, pobreza e meios de subsistência perdidos - reduzindo o crescimento econômico e representando uma ameaça à estabilidade social e, até mesmo, política.

Na mesma linha, relatório da UNFPA (2009, p. 19, tradução nossa) coloca que as mudanças climáticas estimulam a migração, destroem os meios de subsistência, interrompem

---

<sup>52</sup> Este relatório é intitulado "The Anatomy of a Silent Crisis" (A Anatomia de uma Crise Silenciosa) e se dedica a relatar o impacto da mudança climática (aquecimento global) na vida humana em todo o planeta.

as economias, minam o desenvolvimento e exacerbam as desigualdades entre os sexos. Elas também geram estresse relacionado ao calor, aumentando as taxas de mortalidade em curto prazo devido à insolação. Além disso, a mudança de chuvas e de temperatura nas próximas décadas provavelmente fará com que a oferta de água limpa e o bom saneamento sejam “mais complicados do que são agora”. Sendo assim, uma pergunta se impõe: é o aquecimento global que, de fato, causa esses problemas? A solução da questão do aquecimento global resolveria esses problemas?

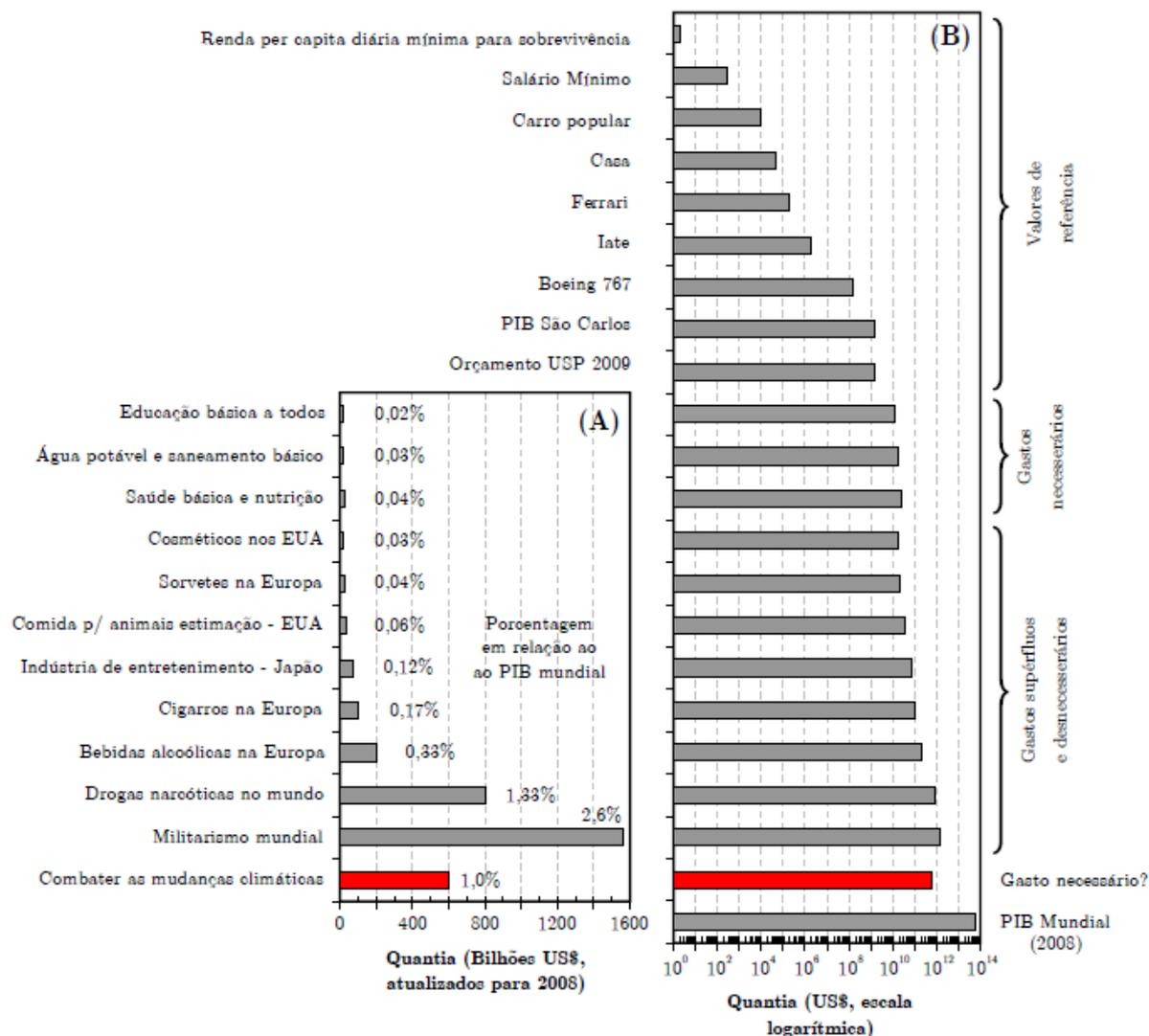
Esse relacionamento das mudanças climáticas com outros problemas humanitários, como coloca a WMO (2010 *apud* OLIVEIRA, p. 339), tem sido frequentemente abordado em várias reuniões entre entidades internacionais. A título de exemplo, a terceira conferência Mundial do Clima, realizada no ano de 2009, teve a intenção de contribuir com o alcance das “Metas de Desenvolvimento do Milênio”, acordo internacional promovido pela ONU em 2000 que pretendia, até 2015, entre outras metas, acabar com a extrema pobreza e a fome, e combater a AIDS e a mortalidade infantil.

Estima-se, segundo expõe Oliveira (2010, p. 338), que para a implementação de medidas de redução de emissões e/ou captura de CO<sub>2</sub> e controle do aquecimento global, seria necessário gastar cerca de 1% do PIB mundial de acordo com o relatório Stern<sup>53</sup>, produzido em 2006. Assim, evitaria-se a perda de 20% do mesmo PIB nos próximos 30 anos devido aos impactos das mudanças climáticas. De acordo com McKinsey e Company (2009), esse 1% representa algo entre US\$ 256 a US\$ 448 bilhões anualmente até 2030. Considerando o PIB de US\$ 60 trilhões, poderia alcançar a quantia de até US\$ 600 bilhões. A seguir, na Figura, os gastos previstos para combater o aquecimento global são comparados com os gastos para solucionar alguns problemas concretos da humanidade e com os gastos desnecessários de algumas atividades supérfluas. À esquerda (A) são exibidos os valores em escala normal, já à direita são exibidos os valores em escala logarítmica.

---

<sup>53</sup> Este relatório teve por objetivo analisar os efeitos na economia mundial das alterações climáticas nos próximos 50 anos.

Gráfico 19 – Gastos com mudanças climáticas (vermelho) em relação aos gastos (A) mundiais e as valores (B) cotidianos (escala logarítmica).



Fonte: Oliveira (2010, p. 339)

Percebe-se facilmente pela análise dos gráficos que a solução de muitos problemas graves para a humanidade, que a acompanham desde há muito, envolveria a aplicação de uma quantidade de recursos financeiros, no prazo de um ano, que é grandemente inferior à quantidade necessária para sanar o suposto problema do aquecimento global. O problema do saneamento básico, por exemplo, este sim, de fato, ligado à incidência de doenças de veiculação hídrica em populações desassistidas, vulneráveis, poderia ser sanado por meio de uma destinação de recursos muito pequena quando comparado ao PIB mundial em um ano. Assim, pergunta-se: existe, de fato, uma preocupação com as populações que vivem em condições precárias de higiene por parte da comunidade internacional, que resulta em ações efetivas de combate? Da mesma forma, o aquecimento global representa verdadeiramente uma preocupação, a ponto de ser combatido em larga escala, de forma efetiva, por meio da

promoção de economias de baixa emissão de CO<sub>2</sub> por parte de todos os países, principalmente os desenvolvidos?

Depois de levantados todos esses números e valores indaga-se: de que servem todos esses acordos convenções e metas vinculados às mudanças climáticas se nenhum deles é colocado efetivamente em prática? Houve a criação da Agenda 21 em 92, mas onde está o tão sonhado desenvolvimento sustentável? Houve a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre a mudança do clima, depois o Protocolo de Quioto em 1997, e na sequência vários documentos do IPCC; onde está o consenso se existe ou não aquecimento global antropogênico? E se realmente existe onde as metas de emissão estão sendo cumpridas? Se elas serão cumpridas pelas indústrias e empresas, elas terão prejuízo ou externalizarão os custos para manter seus lucros? (OLIVEIRA, 2010, p. 340).

Onça (2011, p. 13, 467) responde a essas questões defendendo que, na verdade, a teoria do aquecimento global configura-se como uma ideologia, que desempenha uma função social muito precisa nas contradições sociais contemporâneas: “a de ideologia legitimadora do capitalismo tardio, com a função de remediar a crise estrutural do sistema capitalista, perpetuando a escravidão social ao travestí-la de compromisso com as gerações futuras”. Segundo a autora, o sistema capitalista contemporâneo está em crise. Ele não dá conta de regular a si mesmo sem o apoio de uma instância superior (no caso a ONU-IPCC) que controle as sucessivas crises conjunturais. Daí surge a necessidade inevitável de assegurar a administração sustentável de suas condições de controle num contexto global. Dessa forma, a incontrolabilidade estrutural inerente do capital torna absolutamente necessário o controle racional do sistema global. Daí surge a mais problemática das contradições gerais do capitalismo atual: “a existente entre a impossibilidade de impor restrições internas a seus constituintes econômicos e a necessidade inevitável de se introduzir grande restrições”; a “necessidade inadiável de regulação sem a qual o sistema estará arruinado, é a mesma que, implantada de fato, conduz o sistema à ruína”.

Nesse sentido, “por isso os acordos climáticos são pensados mas não são plenamente propostos, são propostos mas não são plenamente assinados, são assinados mas não são plenamente ratificados, são ratificados mas não são plenamente postos e prática”. Da mesma forma, “por isso os incendiados debates e discursos políticos e, principalmente, a interminável sequência de Conferências das Partes, em cada uma das quais somente se decide o que será decidido na próxima conferência”. Isso se dá justamente porque se sabe da absoluta

necessidade de, ao mesmo tempo, implementar e não implementar as regulações (ONÇA, 2011, p. 468).

O que se nota é que a ciência sobre as mudanças climáticas fornecida pelo IPCC, na medida em que produz seus relatórios, tem amplas divergências com as necessidades da ciência climática<sup>54</sup>. O IPCC é um organismo essencialmente político. Há muito antes de a questão do aquecimento global antropogênico ser decretada como inequívoca em seu quarto relatório (Fourth Assessment Report, 2007), o IPCC já havia lançado as bases para a criação de uma estrutura reguladora. A meta científica do IPCC é a produção de evidências de um aquecimento global antropogênico a fim de colaborar com governos e empresas a forçar governos, empresas e populações do mundo todo a comprarem tecnologias ditas sustentáveis (produzidas por empresas de países ricos), criarem impostos e restringirem as liberdades civis quando nada disso tem a menor razão de ser (ONÇA, 2011, p. 315). Tal como expõe Plimer (2009, p. 411 *apud* ONÇA, 2011, p. 289), referir-se à ‘poluição carbônica’ é uma manobra política anticientífica. Taxar, racionar e controlar um elemento básico para a vida (o CO<sub>2</sub>) é um micro-gerenciamento da liberdade humana. Clamar pela redução da pegada de carbono não faz sentido.

Além da necessidade imposta de redução das emissões de CO<sub>2</sub> não fazer sentido por si só, visto que o CO<sub>2</sub> não pode ser considerado um controlador do clima global nem um poluente atmosférico, em termos práticos também parece inviável. Segundo a Worldwatch Institute, enquanto o desenvolvimento de fontes de energia renováveis é prioridade, nenhuma alternativa energética atualmente disponível consegue manter as taxas de crescimento econômico global intensivas em recursos de hoje. Recentemente, uma análise concluiu que para produzir energia suficiente nos próximos 25 anos para substituir a maior parte do que é suprido pelos combustíveis fósseis, o mundo precisaria construir 200 m<sup>2</sup> de painéis solares fotovoltaicos por segundo, mais 100 m<sup>2</sup> de painéis solares térmicos por hora, mais 24 turbinas eólicas de 3 MW por hora. As energias alternativas, expõe Onça (2011, p. 502) como a solar e eólica, via de regra, são mais caras e ineficientes, não sendo capazes de competir com as fontes tradicionais de energia<sup>55</sup>. Não se trata de dizer, com isso, que alternativas aos combustíveis fósseis nunca serão encontradas, mas sim que elas não estão disponíveis para agora, num futuro próximo.

---

<sup>54</sup> Em abril de 2007, Keith Briffa (autor principal do capítulo 6 do quarto relatório) disse a Michael Mann que trabalhou duro para conciliar as necessidades da ciência com as do IPCC, que nem sempre eram as mesmas.

<sup>55</sup> Isso não quer dizer que as fontes alternativas de energia não tenham valor, mas sim que possuem uma função acessória, complementar ao sistema de energia.

É interessante observar que a teoria do aquecimento global, entendida como ideologia, ainda que não tenha razão de ser, possui uma grande força de persuasão, legitimando um domínio que não se deixa ser visto como forma de dominação. Essa força de persuasão não está presa de modo imutável à própria teoria, mas depende do contexto social em que ela atua ou é utilizada. A verdade ou não-verdade científica da teoria, nesse caso parece ser apenas um elemento do contexto, que, assim como os demais elementos, entra na constituição da força de persuasão da teoria, conforme expõe Abbagnano (1971, p. 533). “O desdobramento histórico de um evento ou uma ideia não permanece necessariamente ligado às circunstâncias que levaram ao seu surgimento” (ONÇA, p. 428). No final das contas, a existência ou não de um aquecimento global provocado pelo homem parece não ser uma questão importante para os organismos internacionais e governos. O importante, sim, é o que se pode fazer com ela, é como ela pode ser moldada convenientemente para o atendimento de interesses, formando assim, segundo ONÇA (2011, p. 503), mais um elo que mantém atada a prosperidade das nações centrais à agonia e escravidão perpétua das nações periféricas, transformando-se em uma útil possibilidade de mercado.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo em vista as exposições feitas até aqui e a discussão realizada, é possível tecer algumas considerações importantes. Uma delas é que o clima é um objeto de estudo extremamente dinâmico. Qualquer visão reducionista do clima, como um sistema imutável, inflexível, rígido, acabado, parece não ser condizente com sua natureza. O clima é, antes de tudo, constituído por mudanças. A mudança é uma característica essencial do clima. Daí que para se falar em mudanças climáticas é preciso um cuidado muito grande, utilizando um adequado referenciamento no espaço e tempo. É preciso um conhecimento vasto da dinâmica climática, um entendimento de quais são os fatores de regulação do clima e como eles atuam no sistema, influenciando outros elementos e se deixando influenciar. Talvez a possibilidade de conhecimento do clima seja mesmo bastante limitada, dificultada que é na medida em que se tenta deixar de compreender um componente do clima isoladamente e passa-se para sua compressão num todo complexo.

Existem incertezas muito grandes em torno das questões de mudança climática que não são meras dúvidas, desprezíveis, mas sim, antes, impeditivos para que se chegue a algum veredito de forma segura. A teoria do aquecimento global, embora tenha adquirido um status de verdade absoluta, carece substancialmente de evidências, não sendo suportada por uma base científica sólida. Conforme o próprio IPCC admite, a detecção do aquecimento global é extremamente problemática, e a atribuição de culpa ao ser humano com base em modelos de simulação do clima é mais ainda. Não parece razoável que modelos precários e enviesados configurem-se como uma evidência de uma interferência poderosa do ser humano no macroclima.

Mas, ainda que frágil, sem razão de ser, a teoria do aquecimento global foi afirmada e se mantém afirmada. Para isso são utilizados argumentos que parecem sustentar a obviedade de que está havendo um aquecimento global antropogênico, mas estes argumentos são falaciosos, encaixando-se em padrões típicos de argumentação logicamente errada. Por outro lado, existem argumentos contrários à validade da teoria do aquecimento global consistentes. Nesse contexto, fica bastante difícil de entender a proclamação da urgência da questão do aquecimento global.

Quando debruça-se um pouco mais sobre a questão, tem-se a impressão de que boa parte do discurso para resolução do problema, que passa pela adoção por parte dos países de uma economia de baixo carbono, e pela adoção pela população de práticas sustentáveis, é

vazio, não sendo possível verificar ações efetivas de combate ao aquecimento global. Essas ações, acordadas em tratados intergovernamentais, não são aplicadas de fato porque parece não existir o real interesse em resolver o problema, que definitivamente não parece ser o problema mais urgente da humanidade. O que importa, em verdade, conforme parece, é apenas a sustentação de um sistema econômico, como aponta Onça (2011), num contexto de crise estrutural, que necessita de instrumentos para sua perpetuação.

Faz-se necessário compreender que a teoria do aquecimento global possui um forte viés ideológico e não é uma simples teoria, restrita somente ao plano das ideias, de cujo debate não se derivam maiores implicações. Ela não é inócua, inofensiva. Está vinculada à uma gama de questões político–econômicas relevantes para a sociedade como um todo. Na medida em que é incorporada pelos governos, tal como atualmente, como uma teoria segura e veraz, ela associa-se à definição de prioridades e orientação de investimentos para diversas áreas fundamentais para o desenvolvimento de um país, como por exemplo, a área energética.

Em face de uma teoria científica como a do aquecimento global que parece ser, em princípio, constituída majoritariamente por crenças sem justificação epistêmica, e que talvez não deveria receber maior importância justamente por isso, deve-se, na verdade, examiná-la com um olhar interessado. Podem ser feitas diversas pesquisas que guardem relação com a temática das mudanças climáticas, seja no sentido de aprofundar o conhecimento sobre o sistema climático, seja no sentido de acompanhar criticamente a forma como vem sendo implementados os acordos político-econômicos ao redor da questão do aquecimento global, tais como os que envolvem os mecanismos de flexibilização já instituídos internacionalmente.

## 7. REFERÊNCIAS

ALVES, R. **Filosofia da ciência: introdução ao jogo e suas regras**. São Paulo: Editora Brasiliense, 1981.

AYOADE, J. **Introdução à Climatologia para os Trópicos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996.

CHALMERS, A. **O que é ciência afinal?** São Paulo: Editora Brasiliense, 1993.

JESUS, E. **Algumas reflexões teórico-conceituais na climatologia geográfica em mesoescala: uma proposta de investigação**. GeoTextos, 2008: 165-187.

KUHN, T. **A Estrutura das Revoluções Científicas**. São Paulo: Perspectiva, 2013.

MARUYAMA, S. **Aquecimento Global?** São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

OLIVEIRA, M. **Incertezas associadas à temperatura do ar no contexto das mudanças climáticas: determinação das causas e efeitos de heterogeneidades e discussão das implicações práticas**. São Carlos, SP, 2010. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18139/tde-25042011-095947/en.php>>

ONÇA, D. **Quando o sol brilha, eles fogem pra a sombra...: a ideologia do aquecimento global**. São Paulo, SP, 2011. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/8/8135/tde-01062011-104754/en.php>>

TEODORO, P.; AMORIM, M. **Mudanças climáticas globais: algumas reflexões**. Revista Brasileira de Climatologia, 2008: 25-35.

Universidade Federal do Rio Grande do Sul. UFRGS. **Métodos de Pesquisa**. 2009. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/cursopgdr/downloadsSerie/derad005.pdf>>. Acesso em: 2 de mar. 2018.

FELICIO, R. **E os Oceanos? Aplicação da Teoria dos Sistemas no Ensino da Influência dos Fatores Oceânicos na Variabilidade Climática.** XIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 2009. Disponível em: <<http://www.fakeclimate.com/arquivos/MaterialDid%C3%A1ticoClimaGeo/MudClim/02-MatDid/A06-EosOceanos.pdf>>. Acesso em: 13 de mar. 2017.

**Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.** 2013. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>>. Acesso em: 22 de mar. 2017.

**Climate change 2007: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007.** 2007. Disponível em: <[http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/ar4/wg1/en/contents.html](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/contents.html)>. Acesso em: 5 de mar. 2017.

World Meteorological Organization - WMO. **Desafíos en la transición de las redes de observaciones meteorológicas convencionales a las automáticas en registros climáticos a largo plazo.** 2010.

MACHADO, A; FELICIO, R. **Ambientes atmosféricos modificados pelo homem e suas verdadeiras implicações.** Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista, v. 7, n. 8, 2011. Disponível em: [https://www.amigosdanatureza.org.br/publicacoes/index.php/forum\\_ambiental/article/view/194](https://www.amigosdanatureza.org.br/publicacoes/index.php/forum_ambiental/article/view/194). Acesso em: 2 de mai. 2017.

Jaworowski, Z. **CO<sub>2</sub>: The greatest scientific scandal of our times.** EIR Science, March 16, pp. 38-53. 2007.

MCINTYRE, S; MCKITRICK, R. **Hockey sticks, principal components, and spurious significance.** Geophysical research letters, v. 32, n. 3, 2005. Disponível em: <<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1029/2004GL021750>>. Acesso em: 4 de mai. 2018.

CHRISTY, R. et al. **Error estimates of version 5.0 of MSU–AMSU bulk atmospheric temperatures.** Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, v. 20, n. 5, p. 613-629, 2003. Disponível em: <[https://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/1520-0426\(2003\)20%3C613:EEOVOM%3E2.0.CO;2](https://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/1520-0426(2003)20%3C613:EEOVOM%3E2.0.CO;2)>. Acesso em: 4 de mai. 2018.

THORNE, W. et al. **Uncertainties in climate trends: Lessons from upper-air temperature records**. Bulletin of the American Meteorological Society, v. 86, n. 10, p. 1437-1442, 2005. Disponível em: <<https://journals.ametsoc.org/doi/pdf/10.1175/BAMS-86-10-1437>>. Acesso em: 5 de mai. 2018.

HANSEN, J. et al. **Climate change and trace gases**. Philosophical Transactions of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, v. 365, n. 1856, p. 1925-1954, 2007. Disponível em: <<http://rsta.royalsocietypublishing.org/content/roypta/365/1856/1925.full.pdf>>. Acesso em: 4 de mai. 2018.

ARTAXO, P. **Uma nova era geológica em nosso planeta: o Antropoceno?** Revista USP. São Paulo, n. 103, p. 13-24, 2014. Disponível em: <<https://www.revistas.usp.br/revusp/article/view/99279/97695>>. Acesso em: 8 de nov. 2017.

ARTAXO, P. **Mudanças climáticas e o Brasil**. Revista USP, n. 103, p. 8-12, 2014. Disponível em: <<http://www.periodicos.usp.br/revusp/article/viewFile/99191/97658>>. Acesso em: 9 de set. 2017.

NOBRE, C. **Mudanças climáticas globais: possíveis impactos nos ecossistemas do país**. Parcerias estratégicas, v. 6, n. 12, p. 239-258, 2010. Disponível em: <[http://seer.cgee.org.br/index.php/parcerias\\_estrategicas/article/view/186](http://seer.cgee.org.br/index.php/parcerias_estrategicas/article/view/186)>. Acesso em: 2 de out. 2017.

MARENGO, J. **Vulnerabilidade, impactos e adaptação à mudança do clima no semi-árido do Brasil**. Parcerias estratégicas, v. 13, n. 27, p. 149-176, 2010. Disponível em: <[http://seer.cgee.org.br/index.php/parcerias\\_estrategicas/article/view/329](http://seer.cgee.org.br/index.php/parcerias_estrategicas/article/view/329)>. Acesso em: 11 de mar. 2017.

OLIVEIRA, M.; VECCHIA, F.; CARNEIRO, C. **A educação no contexto do aquecimento global: da ignorância e analfabetismo científico ao raciocínio crítico e literacia climática**. Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista, v. 11, n. 4, 2015. Disponível em: <[http://www.amigosdanatureza.org.br/publicacoes/index.php/forum\\_ambiental/article/view/1292](http://www.amigosdanatureza.org.br/publicacoes/index.php/forum_ambiental/article/view/1292)>. Acesso em: 7 de mai. 2018.

GLOBAL HUMANITARIAN FORUM - GHF. **The anatomy of a silent crisis**. 2009. Disponível em: <[https://www.preventionweb.net/files/9668\\_humanimpactreport1.pdf](https://www.preventionweb.net/files/9668_humanimpactreport1.pdf)>. Acesso em: 9 de mai. 2018.

United Nations Population Found - UNFPA. **The state of world population 2009. Facing a changing world: Women, population and climate.** 2009. Disponível em: <[https://www.unfpa.org/sites/default/files/pub-pdf/state\\_of\\_world\\_population\\_2009.pdf](https://www.unfpa.org/sites/default/files/pub-pdf/state_of_world_population_2009.pdf)>. Acesso em: 18 de mai 2018.

LEITE, J. **Controvérsias científicas ou negação da ciência? A agnotologia e a ciência do clima.** Scientiae Studia, v. 12, n. 1, p. 179-189, 2014. Disponível em: <<http://www.journals.usp.br/ss/article/download/84493/87247>>. Acesso em: 2 de nov. 2017.

LEITE, J. **Controversies in climatology: IPCC and the anthropogenic global warming.** Scientiae Studia, v. 13, n. 3, p. 643-677, 2015. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1678-31662015000300643&script=sci\\_arttext&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1678-31662015000300643&script=sci_arttext&tlng=pt)>. Acesso em: 22 de ago. 2017.

DOWNES, S. **Guia de Falácias Lógicas do Stephen.** 1995. Disponível em: <<https://criticanarede.com/falacias.html>>. Acesso em: 2 de fev. 2018.

MOLION, L. **Aquecimento global, El Niños, manchas solares, vulcões e Oscilação Decadal do Pacífico.** Climanalise, CPTEC/INPE, 2005. Disponível em : <<http://www.fakeclimate.com/arquivos/MaterialDid%C3%A1ticoClimaGeo/MudClim/02-MatDid/A09A-AquecGlobal-Molion.pdf>>. Acesso em: 16 de abr. 2017.

MOLION, L. **Aquecimento global: uma visão crítica.** Revista brasileira de climatologia, v. 3, 2008. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/25404>>. Acesso em: 27 de jan. 2017.

MOLION, L. **Desmistificando o aquecimento global.** Intergeo, v. 5, p. 13-20, 2007.

MOLION, L. **Aquecimento global: natural ou antropogênico.** In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia. 2007. Disponível em: <<http://www.sbagro.org.br/bibliotecavirtual/arquivos/1995.pdf>>. Acesso em: 17 de ago. 2017.

MOLION, L. **Mitos do aquecimento global.** 2008. Disponível em: <<http://bd.camara.leg.br/bd/handle/bdcamara/661>>. Acesso em: 1 de jan. 2017.

MOLION, L. **Considerações sobre o aquecimento global antropogênico.** Informe Agropecuário, v. 29, n. 246, p. 7-18, 2008.

FELÍCIO, R. **“Mudanças Climáticas” e “Aquecimento Global” – Nova Formatação e Paradigma para o Pensamento Contemporâneo?** Ciência e Natura, v. 36, n. 3, p. 257-266, 2014. Disponível em: <<http://cascavel.ufsm.br/revistas/ojs-2.2.2/index.php/cienciaenatura/article/download/13221/pdf>>. Acesso em: 18 de mar. 2017.

FELICIO, R; ONÇA, D. **Aquecendo a Terra em Sete Linhas: a Gritante Reorientação da Sociedade Imposta por Resultados de Modelagem de Computadores.** Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista, v. 7, n. 8, 2011. Disponível em: <[http://www.amigosdanatureza.org.br/publicacoes/index.php/forum\\_ambiental/article/view/193](http://www.amigosdanatureza.org.br/publicacoes/index.php/forum_ambiental/article/view/193)>. Acesso em: 2 de jun. 2017.

ONÇA, D; FELICIO, R. **A Persistência de Pressupostos Metafísicos Ilusórios nas Ciências Ambientais: o Caso da Hipótese do Aquecimento Global.** Disponível em: <<http://www.fakeclimate.com/arquivos/ArtigosFake/mc-2009-002.pdf>>. Acesso em: 2 de ago. 2017.

FELÍCIO, R.; ONÇA, D. **“Aquecimento Global”, “Mudanças Climáticas”, e o “Caos Ambiental” Justificando o Falso “Desenvolvimento Sustentável”: a Teoria da Tríade.** Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista, v. 6, n. 8, 2010. Disponível em: <[http://amigosdanatureza.org.br/publicacoes/index.php/forum\\_ambiental/article/download/44/47](http://amigosdanatureza.org.br/publicacoes/index.php/forum_ambiental/article/download/44/47)>. Acesso em: 2 de ago. 2017.

ONÇA, D; FELICIO, R. **A Elevação Global das Temperaturas: Tendência ou Artifício?** Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista, v. 8, n. 8, 2012. Disponível em: <[http://amigosdanatureza.org.br/publicacoes/index.php/forum\\_ambiental/article/view/342](http://amigosdanatureza.org.br/publicacoes/index.php/forum_ambiental/article/view/342)>. Acesso em: 10 de set. 2017.

ONÇA, D.; FELICIO, R. **O Culto à Frugalidade e à Produção Artificial da Escassez.** Revista Científica ANAP Brasil, v. 3, n. 3, 2010. Disponível em: <[http://amigosdanatureza.org.br/publicacoes/index.php/anap\\_brasil/article/view/384](http://amigosdanatureza.org.br/publicacoes/index.php/anap_brasil/article/view/384)>. Acesso em: 11 de nov. 2017.

ONÇA, D.; FELICIO, R. **Dióxido de Carbono: Gás da Vida ou Poluente Atmosférico?** Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista, v. 7, n. 8, 2011. Disponível em:

<[http://www.amigosdanatureza.org.br/publicacoes/index.php/forum\\_ambiental/article/view/195](http://www.amigosdanatureza.org.br/publicacoes/index.php/forum_ambiental/article/view/195)>. Acesso em: 13 de dez. 2017.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. 2017. Disponível em: <[http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod\\_Noticia=3129](http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod_Noticia=3129)>. Acesso em: 5 de ago. 2017.

Instituto Nacional de Meteorologia – INMET. 2017. <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesautomaticas>>. Acesso em: 5 de ago. 2017.

BRAGA, B. **Introdução à engenharia ambiental**. 2ª edição. São Paulo: Person Prentice Hall, 2005.

MENDONÇA, F.; MORESCO, I. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo: Oficina de textos, 2007.

SETZER, J. **Panorama do princípio da precaução: o direito do ambiente face aos novos riscos e incertezas**. 2007. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/90/90131/tde-11032008-103816/en.php>>. Acesso em: 1 de jan. 2018.

BARBIERI, J. **Assuntos Ambientais Polêmicos e o Princípio da Precaução: Discutindo o Aquecimento Global em Sala de Aula**. Administração: Ensino e Pesquisa, v. 14, n. 3, p. 519-556, 2013. Disponível em: <<http://raep.emnuvens.com.br/raep/article/view/60>>. Acesso em: 7 de jan. 2018.

SUSTEIN, Cass R. **Para além do princípio da precaução**. Revista de Direito Administrativo, v. 259, p. 11-71, 2012. Disponível em: <<http://bibliotecadigital.fgv.br/ojs/index.php/rda/article/view/8629>>. Acesso em: 1 de jan. 2018.

SCHLEICHER, R. **Ciência, política e institucionalização na cooperação multilateral contra o aquecimento global**. 2006. Universidade de Brasília. Disponível em: <<http://repositorio.unb.br/handle/10482/4932>>. Acesso em: 4 de mar. 2017.

VOSE, R. et al. **NOAA's merged land–ocean surface temperature analysis**. Bulletin of the American Meteorological Society, v. 93, n. 11, p. 1677-1685, 2012. Disponível em:

<[https://www.ncdc.noaa.gov/sites/default/files/attachments/2012.bams\\_.vose\\_.mlost\\_.pdf](https://www.ncdc.noaa.gov/sites/default/files/attachments/2012.bams_.vose_.mlost_.pdf)>. Acesso em: 21 de fev. 2018.

ABBAGNANO, N. **Dicionário de Filosofia**. 5ª. Edição Revisada e Ampliada, São Paulo: Martins Fontes, 2007.

National Centers for Environmental Information – NOAA. National Oceanic and Atmospheric Administration - NCDC. 2018. Disponível em: <<https://www.ncdc.noaa.gov/data-access/marineocean-data/mlost>>. Acesso em: 2 de out. 2017.

Remote Sensing Systems, 2018 - RSS. 2018. <<http://www.remss.com/>>. Acesso em: 9 de fev. 2018.

SIMON, B. **Dicionários Oxford de Filosofia**. Jorge Zahar: Rio de Janeiro, 1997.

MORIN, E.; LISBOA, E. **Introdução ao pensamento complexo**. Porto Alegre: Sulina, 2007. Disponível em: <[http://ruipaz.pro.br/textos\\_pos/introducao\\_pensamentocomplexo.pdf](http://ruipaz.pro.br/textos_pos/introducao_pensamentocomplexo.pdf)>. Acesso em: 3 de jan. 2018.

DE PRACONTAL, M. **A impostura científica em dez lições**. Unesp, 2004. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=hc1fazDGeYIC&oi=fnd&pg=PA17&dq=michel+pracontal+impostura&ots=MtsyKcpeXO&sig=mwuFyLIZh0zETc8UeoDZ9NiqlVk>>. Acesso em: 4 de fev 2017.

OLIVEIRA, L. **Aspectos teóricos e ideológicos sobre o discurso do aquecimento global**. GeoTextos, v. 12, n. 2, 2016. Disponível em: <<https://portalseer.ufba.br/index.php/geotextos/article/view/18160>>. Acesso em: 13 de mar. 2017.

Hansson, S. **Ciência e Pseudociência**. 2018. Crítica na rede. Disponível em: <<https://criticanarede.com/fciencia.html>>. Acesso em: 14 de mar. 2018.