UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE FILOSOFIA, LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE ANTROPOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ANTROPOLOGIA SOCIAL

ANDRE SICCHIERI BAILÃO

**Ciências e mundos aquecidos:
narrativas mistas de mudanças climáticas em São Paulo**

Versão Corrigida

São Paulo
2014

ANDRE SICCHIERI BAILÃO

**Ciências e mundos aquecidos:
narrativas mistas de mudanças climáticas em São Paulo
Versão Corrigida**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Antropologia Social do Departamento de Antropologia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, para a obtenção do título de Mestre em Antropologia Social.

Orientador: Prof. Dr. Stelio Alessandro Marras

De acordo.

São Paulo
2014

Nome: BAILÃO, Andre Sicchieri.

Título: Ciências e mundos aquecidos: narrativas mistas de mudanças climáticas em São Paulo.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Antropologia Social do Departamento de Antropologia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, para a obtenção do título de Mestre em Antropologia Social.

Aprovada em: 13/10/2014

Banca Examinadora

Prof. Dr. Stelio Alessandro Marras
(orientador)
Julgamento: _____

Instituição: Universidade de São Paulo
Assinatura: _____

Prof. Dr. Renzo Romano Taddei
Julgamento: _____

Instituição: Universidade Federal de São Paulo
Assinatura: _____

Prof. Dr. Marko Synésio A. Monteiro
Julgamento: _____

Instituição: Universidade Estadual de Campinas
Assinatura: _____

Prof. Dr. Guilherme José da Silva e Sá (suplente)
Julgamento: _____

Instituição: Universidade Nacional de Brasília
Assinatura: _____

Profª. Dra. Marta R. Amoroso (suplente)
Julgamento: _____

Instituição: Universidade de São Paulo
Assinatura: _____

Prof. Dr. Renato Sztutman (suplente)
Julgamento: _____

Instituição: Universidade de São Paulo
Assinatura: _____

AGRADECIMENTOS

Aos responsáveis pela realização dos trinta meses deste mestrado acadêmico, agradeço ao Programa de Pós-Graduação em Antropologia Social da USP (PPGAS/USP) pela oportunidade, à CAPES pela bolsa concedida nos primeiros catorze meses de pesquisa, processo 130218/2012-0 e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pela bolsa concedida nos últimos dez meses desta pesquisa, processo 2012/23739-9.

Ao Stelio, pela paciência, críticas, elogios e, sobretudo, pela leitura mais generosa que eu poderia receber de meu texto e de minhas aulas. A meus informantes, principalmente “Michel” e “Ivan”. Aos colegas, às secretárias da pós-graduação, aos amigos da Sexta do Mês. Aos professores Renzo e Marko e aos colegas de LAPODE pelas leituras e contribuições. A meus professores, especialmente Marta Amoroso, Lilia Schwarcz e Renato Sztutman, que me ensinaram a amar a antropologia e os grandes mestres.

Para além dos corredores acadêmicos, gostaria de dedicar o primeiro agradecimento a meus pais, Bailão e Tuka, pelo apoio incondicional, estrutural e financeiro. Obrigado pelo amor durante todos esses anos, por sempre acreditarem em mim e por terem me ensinado tudo o que vocês sabem – e, quando não souberam, obrigado por me apoiarem de todas as formas para que eu fizesse minhas próprias descobertas.

À minha família. Especialmente meus pais de coração, tia Dulce e tio Paulo, por me amarem como um filho; meus irmãos, Daniel, Gabriela e Mariana, pela cumplicidade e o carinho nos olhares e sorrisos; minha avó Corina, por ser meu modelo de vida, pela companhia e as histórias; Zélia, pelas risadas e por tudo o que você fez a todos nós desde os meus oito anos.

Aos amigos. Hélio e Michele, por estarem sempre ao meu lado com risadas e choros em cada um dos meus passos, dos vinte e poucos à vida adulta, de São Paulo a Paris, a Dacar, ao Rio e aonde formos. Que venham os próximos passos sempre ao lado de vocês. Fernandas, pelas luzes que vocês foram e são em minha vida. Thaís, pela saudade e a memória de te ver todos os dias. Minha irmã, Luiza R., por sermos quem somos e do nosso jeito. Natália e à Patrícia, por terem me feito

redescobrir tantas coisas importantes na vida. Douglas, Flávia, Melina e Renata, pelos melhores anos de faculdade que alguém poderia ter tido e por terem feito da graduação apenas um mero detalhe em meio a tudo o que vivemos. Carol, Daniel, Adriana, Lays, Mariana, Tatiana, pelas conversas e o porto-seguro. Deia e Marcelo, pela vida sempre tranquila em casa. Alan, Bruno Genovez, Bruno Krajuska, Bruno Palma, Gregório, Livia, Luiza S.M., Marco, Maria e Rafael T., pelos bons momentos e porque a vida é mais iluminada ao lado de vocês. Jamille, pelos planetas e as estrelas. Sônia, pelas quintas-feiras. Tudo o que aprendi nos últimos dez anos devo a todos vocês e a todas as nossas histórias.

Gostaria de fazer um agradecimento especial aos meus companheiros de iluminações e que estiveram a meu lado nos momentos mais felizes, difíceis, importantes e maravilhosos destes últimos três anos, Arrigo, Beta, Bruna, Gabriel, João Pedro, João, Luiza, Paula e Uibirá. Obrigado pelas memórias mais lindas e sublimes. Quando nos formos, nos encontraremos na membrana.

Last but not least, Evandro, agradeço pela companhia diária, pela amizade constante, pela vontade de sempre estar bem, pela compreensão nos dias e noites desesperadas, pelo ouvido sempre atento, o sorriso sempre presente, o ombro e o colo sempre importantes. Por tudo o que aprendemos juntos sobre os mistérios, a leveza e a profundidade de amar.

À memória de meus avós Eunice, Gabriel e Maurício e à memória da minha antiga companheira, Zazá.

P.S.: Como trato também das coisas nesta dissertação, dedico sua escrita à memória constante do sítio e do rio, em realidade e metáfora, com seus seres, céus estrelados ou cobertos de neblina, árvores e animais. Nesse percurso, foram fontes de iluminação da grande beleza do mundo e fonte incessante de tranquilidade e de ideias para além das palavras escritas. Obrigado Beta, João e Paula pela oportunidade de comigo e os demais construirmos juntos as melhores experiências nesse pedaço de um mundo que quase não existe mais.

RESUMO

BAILÃO, A. S. *Ciências e mundos aquecidos: narrativas mistas de mudanças climáticas em São Paulo*. 2014. 227 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Antropologia Social, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.

Esta dissertação teve como objetivo descrever, à luz da obra de Bruno Latour, as construções de natureza e sociedade pelas redes de humanos e não-humanos da ciência das mudanças climáticas em São Paulo. As mudanças climáticas estão no olho do furacão de um dos debates científicos e sociopolíticos mais importantes da atualidade pelo risco que representam às antigas classificações das ciências modernas, que distinguem totalmente os domínios do humano e do natural. Este estudo buscou contribuir para o avanço teórico e etnográfico nas áreas de mudanças climáticas, da antropologia da ciência e da tecnologia, dos estudos sociais de ciência e tecnologia (*science studies*). O projeto teve início com o mapeamento da rede paulista de pesquisadores de mudanças climáticas dedicados à produção, ao desenvolvimento e ao uso da modelagem climática computacional, assim como o levantamento bibliográfico de antropologia e história das ciências e das ciências das mudanças climáticas. A partir da seleção de entrevistas com alguns informantes mapeados e da leitura do material bibliográfico levantado, o trabalho realizou uma discussão, seguindo a teoria do ator-rede, da história das classificações de humano e natural em risco na ciência de mudanças climáticas e uma discussão dos diferentes elementos e relações sociotécnicas produzidos e que a compõem.

Palavras-chave: Mudanças climáticas. Antropologia da ciência e da tecnologia. Antropologia da modernidade. Teoria do ator-rede. História das ciências.

ABSTRACT

BAILÃO, A. S. *Ciências e mundos aquecidos: narrativas mistas de mudanças climáticas em São Paulo*. 2014. 227 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Antropologia Social, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.

This study concerns a description of nature and society production, according to Bruno Latour, in the human and non-human networks of climate change science in Sao Paulo. Climate change is at the eye of the storm in one of the most important scientific and sociopolitical debates of our time, due to the risks it presents to the old classifications of modern science, which distinguish the human and natural dominions. This study aimed at promoting developments in anthropological theory and ethnography in the fields of climate change, anthropology of science and technology, science studies, and actor-network-theory. The research started with mapping the network of climate change scientists in Sao Paulo dedicated to the production, development, and use of computer climate models and with selecting the literature concerning anthropology and history of science and climate change science. Based on interviews of mapped researchers and the selected literature, this study discusses following actor-network-theory the history of human and natural classifications at risk in climate change science and the different sociotechnical elements and relations that compose it and are produced by it.

Keywords: Climate change. Anthropology of science and technology. Anthropology of modernity. Actor-network-theory. History of sciences.

SUMÁRIO

LISTA DE ACRÔNIMOS.....	11
LISTA DE FIGURAS	12
INTRODUÇÃO.....	13
1 NARRATIVAS MISTAS.....	25
1.1 ANTROPOLOGIA DA MODERNIDADE, ENTRE PESSOAS E COISAS ...	33
1.2 COMPOSIÇÕES DA CRISE AMBIENTAL.....	40
2 UMA BREVE HISTÓRIA DA CIÊNCIA DO CLIMA E DE SUAS MUDANÇAS	47
2.1 A CIÊNCIA MODERNA E OS FENÔMENOS ATMOSFÉRICOS.....	47
2.2 REDES CIENTÍFICAS MODERNAS DE MEDIÇÃO E PREVISÃO DO TEMPO	51
2.3 O CLIMA COMO SISTEMA, A CLIMATOLOGIA COMO TEORIA FÍSICA.....	56
2.3.1 As mudanças do clima e as atividades humanas.....	58
2.3.2 A climatologia oitocentista e as mudanças do clima.....	61
2.2.3 Aquecimento Global e a climatologia no século XX.....	66
3 FORMAÇÃO DE REDES SOCIOTÉCNICAS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS.....	69
3.1 FENÔMENOS GLOBAIS.....	69
3.2 REDES GLOBAIS.....	71
3.3 O EXPERIMENTO HUMANO DE LARGA ESCALA NA ATMOSFERA...	79
3.4 A ERA DA COMPUTAÇÃO	84
3.5 O AMBIENTALISMO INTERNACIONAL	89

3.6 REDES DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO BRASIL	94
3.6.1 Ciência e Política das Mudanças Climáticas no Brasil	94
3.6.2 Modelos climáticos no Brasil.....	106
3.7 ANÁLISES SOCIAIS DOS MODELOS CLIMÁTICOS	110
4 A TECNOCIÊNCIA DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS.....	118
4.1 MODELAGEM NO ESTUDO DE VARIABILIDADE E MUDANÇA DO CLIMA.....	118
4.2 MODELAGEM CLIMÁTICA COMO CIÊNCIA	131
4.2.1 Equações	139
4.2.2 Escalas de Tempo e Espaço	144
4.2.3 Parametrizações	146
4.2.4 Entre máquinas de verdade e ferramentas	152
4.3 MODELAGEM CLIMÁTICA COMO TECNOLOGIA.....	156
4.3.1 Computação	156
4.3.2 Programação	161
4.3.3 Ajustes e afinamentos	168
4.4 MODELAGEM CLIMÁTICA COMO LABORATÓRIO.....	173
4.4.1 Laboratórios virtuais	176
4.4.2 Narrativas simuladas e a dimensão humana	182
CONCLUSÃO	196
NOVOS COLETIVOS, NOVAS INCERTEZAS	196
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	210
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	217

LISTA DE ACRÔNIMOS

ABC – Academia Brasileira de Ciências.

AGA – Aquecimento Global Antropogênico.

AGI – Ano Geofísico Internacional (1957-1958).

ANT – Teoria do ator-rede.

COP – Conferência das Partes – encontro diplomático dos membros da UNFCCC.

CPTEC – Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

FBMC – Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas.

GCM – Modelo de Circulação Geral (Atmosférica ou Oceânica, ou ambos), na sigla em inglês (*General Circulation Model*). O nome mais utilizado para modelos globais do clima.

IAG/USP – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo.

IGBP - Programa Internacional da Geosfera-Biosfera.

INCT-MC – Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia para Mudanças Climáticas.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais do MCTI.

IPCC – Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas.

LBA – Programa de Grande Escala de Biosfera-Atmosfera na Amazônia.

MCTI – Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação.

MMA – Ministério do Meio Ambiente.

MRE – Ministério das Relações Exteriores.

NASA – Agência Espacial Norte-americana.

NOAA – Administração Oceânica e Atmosférica Norte-americana.

OMM – Organização Mundial de Meteorologia.

PBMC - Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas.

PFPMCG – Programa FAPESP de Pesquisas de Mudanças Climáticas Globais.

PNC – Plano Nacional do Clima.

PNUMA – Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente.

UNFCCC – Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças do Clima.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Evolução do número de bolsas e auxílios à pesquisas financiados pela FAPESP no tema “mudanças climáticas” (Fonte: FAPESP)	p. 99
Figura 2 in: SHACKLEY et al. (1998) p. 187	p. 112
Figura 3 Fonte: HOUGHTON et al. [IPCC], 2001 apud Marengo, 2006, p. 28.	p. 185
Figura 4 Fonte: MARENGO, 2006, p. 112.	p. 193
Figura 5 Fonte: MARENGO, 2006, p. 112.	p. 193
Figura 6 Fonte: MARENGO, 2006, p. 99.	p. 193
Figura 7 Fonte: MARENGO, 2006, p. 99.	p. 194

INTRODUÇÃO

Esta pesquisa¹ originou-se da leitura da obra de Bruno Latour e buscou acompanhar sua proposta de estudar as sociedades modernas a partir de uma de suas instituições centrais, as ciências modernas. As ciências das mudanças climáticas foram o foco desta pesquisa.

O campo, batizado nas últimas três décadas de “*science studies*”, segundo diversos autores de língua francesa e inglesa:

(...) questionaria toda separação entre as ciências e a sociedade. Os pesquisadores agrupados nesse campo ousariam pretender estudar a ciência à maneira de um projeto social como outro qualquer, nem mais descolado das preocupações do mundo, nem mais universal ou racional do que qualquer outro (STENGERS, 2002, p. 11).

Para antropólogos, sociólogos, historiadores e filósofos da ciência dos *science studies*, toda ciência é palco da produção de conhecimento e poder (HESS, 1997). Com o uso de um vocabulário de “composição”, “coprodução”, e “construção”, a ciência é relatada como um híbrido de fenômenos anteriormente descritos como puramente sociais ou científicos, por diversos autores de língua inglesa e francesa (BLOOR, 1999; FRANKLIN, 1995; LAHSEN, 2009b; LATOUR, 1983; MARTIN, 1998; SCHAFFER; SHAPIN, 1985; SHACKLEY et al., 1998; STRATHERN, 1996; SUNDBERG, 2007a, 2009).

Bruno Latour (1983, 1994) e seus aliados, o sociólogo francês Michel Callon (1986) e a filósofa belga Isabelle Stengers (2002, 2010a, 2010b), sem negar a importância destes estudos, dão um passo além ao afirmar que a ciência também é palco da produção de outro par de oposição: a natureza e a cultura. Para estes autores, as ciências modernas, dentro de seus laboratórios, produzem técnicas e

¹ Esta pesquisa contou com o apoio financeiro da CNPq e da FAPESP durante vinte e quatro meses durante de fevereiro de 2012 a janeiro de 2014. As opiniões, hipóteses e conclusões ou recomendações expressas neste material são de responsabilidade do autor e não necessariamente refletem a visão da FAPESP ou da CNPq.

conhecimentos a partir da associação entre humanos (técnicos e leigos) e não-humanos (máquinas, seres, materiais). Estudos dos laboratório, portanto, permitem que cientistas sociais observem a produção científica da ciência em ação (LATOUR, 2000), para além da ciência já pronta dos artigos, manuais e relatórios.

Segundo Bruno Latour (2000), os fatos naturais são criados quando são dissociadas as relações sociais, a tecnologia e a história desta produção científica. A Natureza é apresentada, pelas ciências modernas fora dos laboratórios, como entidade purificada de toda as condições e associações responsáveis pela própria possibilidade de falarmos de fatos naturais. Portanto, um estudo social da ciência, para Latour, Callon e Stengers, deveria considerar metodologicamente não-cientistas, não-especialistas, e não-humanos da mesma forma que cientistas para falar de produção de fatos – mas, para eles, as ciências sociais estavam considerando apenas os humanos e as relações sociais para falar de conhecimento e poder, mantendo intacto o Grande Divisor entre Natureza e Cultura, ciências naturais e humanas.

As ciências das mudanças climáticas foram escolhidas como objeto de investigação deste projeto, devido justamente às intensas misturas entre natureza e humanidade presentes em seus relatos. Como veremos a partir do primeiro capítulo, relatórios científicos sobre mudanças climáticas misturam fatores naturais e dimensões humanas ao tratarem das causas de fenômenos e dinâmicas climáticas.

Algumas pesquisas em ciências sociais (cf. CRATE, 2011; LAHSEN, 2005, 2007, 2008; SAYRE, 2012; TADDEI; GAMBOGGI, 2010; TADDEI, 2009) dedicaram-se a explorar etnograficamente diversas facetas das mudanças climáticas: impactos nos modos de existências e cosmologias de coletivos ao redor do planeta; as diversas e conturbadas relações entre o que convencionamos chamar de ciência e sociedade em relação ao clima e suas mudanças, em relação a, por exemplo, fenômenos, desastres, comunicação de previsões meteorológicas, e políticas públicas ambientais.

Originalmente, o intuito deste projeto seria o de realizar um mapeamento das redes e das controvérsias científicas em torno das mudanças climáticas, que divide a comunidade científica entre pesquisadores que afirmam que as mudanças climáticas antropogênicas são reais e aqueles que negam sua existência, afirmando que

quaisquer mudanças são originárias exclusivamente de ciclos naturais. O objetivo era o de elencar os elementos humanos ou não-humanos que compõem as redes em disputa e fazer um relato sobre os diferentes coletivos de natureza e cultura que cada lado da controvérsia produz. Bruno Latour (2000a, 2007), em conjunto com outros autores (COLLINS; PINCH, 2010; SCHAFFER; SHAPIN, 1985), elegeu o estudo das controvérsias como uma forma privilegiada de falar sobre produção científica: no momento da controvérsia, os fatos (*matters of fact*) não estão estabelecidos e são constantemente produzidos, reproduzidos e descartados. Nas controvérsias entre grupos, não está decidido o que pode ser chamado de “natural” e o que pode ser chamado de “humano”, “cultural” ou “social” – Natureza e Cultura são estabelecidas apenas com o fim da controvérsia.

Entretanto, após o mapeamento das controvérsias públicas na mídia brasileira, escrita, impressa ou virtual, ou de transmissão audiovisual desde 2009 envolvendo cientistas brasileiros, principalmente da Universidade de São Paulo (UPS) e do Instituto de Pesquisas Espaciais (Inpe), percebi que a maior parte da controvérsia brasileira ocorre apenas nos veículos de mídia – os autores chamados normalmente de “céticos do clima” ou “negacionistas”² não tratam das mudanças climáticas em seus projetos científicos especificamente.

A controvérsia era quase inexistente nos centros de produção científica no Brasil e encontrava pouco espaço na política, diferente do que ocorre nos Estados Unidos³, e ocorria majoritariamente em debates midiáticos. Os cientistas que negavam a existência das mudanças climáticas antropogênicas não produziam

² Para um relato sobre denominações dos lados da controvérsia de mudanças climáticas, ver o relatório final do projeto *Poles Apart* (PAINTER, 2011), da de Oxford, no Reino Unido, que analisa as formas como a mídia de diferentes países, incluindo o Brasil, reporta a controvérsia. Para um relato antropológico e etnográfico da controvérsia norte-americana, ver Lahsen (2008). Para o relato do mapeamento inicial da controvérsia brasileira realizado por este projeto, ver o trabalho enviado para discussão na IV Reunião de Antropologia da Ciência e Tecnologia (REACT), na Unicamp, em setembro de 2013, (BAILÃO, 2013). Uma versão modificada do trabalho enviado para a IV REACT será posteriormente submetida como artigo para publicação, mas não fará parte do corpo do texto final desta dissertação.

³ Para relatos sobre a controvérsia na política dos Estados Unidos ver HOCKENBERRY; UPIN, 2012; HULME, 2009; LAHSEN, 2008, 2009b; PAINTER, 2011. Um livro dos historiadores da ciência, Naomi Oreskes e Erik Conway, trata da história de controvérsias científicas nos Estados Unidos de forma sistemática cf. CONWAY & ORESKES, 2010, *Merchants of Doubt*, Bloomsbury Press.

ciência sobre o assunto e nem formavam redes sociotécnicas influentes. O ceticismo climático no Brasil produzia pouco rendimento para uma pesquisa dedicada a investigar a produção tecnocientífica. Após sugestão da banca examinadora de qualificação, optei por excluir do presente trabalho o mapeamento da controvérsia científica em torno das mudanças climáticas.

O objetivo passou a ser o de realizar um encontro entre dois mundos. O tema das mudanças climáticas é um terreno privilegiado para compor um encontro possível entre as narrativas mistas feitas por estudos sociais da ciência, principalmente o feito por Bruno Latour (1994, 2004), com o tipo de ciência feita pelos cientistas de mudanças climáticas. Narrativas mistas são um termo da antropóloga britânica Marilyn Strathern para denotar a onda cada vez mais comuns depois da década de 1980 de trabalhos antropológicos que celebram passagens entre fronteiras culturais e ontológicas e combinam fenômenos não-humanos e humanos nas descrições do campo, onde tradição e modernidade, coisas e pessoas, humanos e natureza convivem e se misturam, produzindo imagens de híbridos, amálgamas culturais, cruzamentos intensos de fronteiras. (STRATHERN, 1996, pp. 519–521).

As mudanças climáticas tornaram-se uma grande narrativa do mundo moderno que coloca em risco domínios ontológicos de natureza e cultura, de variabilidades e ciclos naturais e de impactos antropogênicos, e também domínios e separações como local e global, tempo presente observado e tempo futuro modelado, política e ciência.

Um encontro possível foi colocado à prova com esta antropologia da ciência, que também coloca em risco as grandes divisões da modernidade, que opõe agentes humanos históricos e objetos naturais desprovidos de história e agência; produção humana e fatos naturais. Ao longo do desenvolvimento desta pesquisa, tornou-se claro que a pergunta que este projeto buscava responder era: como os domínios e as classificações modernas de natureza e cultura entram em risco à luz da questão das mudanças climáticas, tanto para essas redes de produção de relatos de mudanças climáticas, como para as leituras feitas a partir destes autores das ciências humanas?

A chamada teoria do ator-rede, feita por Latour, Callon e outros, buscava redistribuir a agência entre entidades humanas e não-humanas; enquanto as ciências das mudanças climáticas buscavam redistribuir o papel de forçante do clima entre

ciclos naturais e dimensões humanas. Veremos, ao longo desta dissertação, alguns desenvolvimentos históricos destas redistribuições de agências e forças e de que forma a teoria do ator-rede e as ciências das mudanças climáticas se aproximam, mas também se afastam. O primeiro capítulo trata desta aproximação, enquanto que a conclusão procurou apontar os afastamentos e as diferenças.

No capítulo inicial, são apresentadas as ciências das mudanças climáticas, segundo a definição das redes de interlocutores entrevistados durante os dois anos e meio de duração deste projeto; assim como as narrativas mistas da antropologia da ciência, especialmente aquela feita por Bruno Latour e seus aliados, como Michel Callon, Marilyn Strathern, mas também por outros autores, como Nathan Sayre, delineando-se um encontro possível entre as duas ciências.

A partir do final do primeiro capítulo, o trabalho foi organizado em duas partes de igual tamanho. A primeira, dividida em dois capítulos, foi escrita a partir de levantamento bibliográfico historiográfico sobre a história da ciências da mudanças climáticas, da leitura e da análise deste material, a partir da seleção de relatos historiográficos apontados como relevantes para descrever tipo de ciência de mudanças climática analisados na segunda parte. Guiei-me por Bruno Latour e Michel Callon e outros autores dos *science studies* para organizar este material, procurando dar visibilidade maior para pontos de associação entre os mundos dentro e fora dos laboratórios.

Este capítulo foi escrito a partir da leitura de obras de historiadores da ciência climática, da ciência das mudanças climáticas e de outros pesquisadores dedicados a traçar as genealogias destas ciências e comentados com o auxílio da leitura de obras da teoria ator-rede. O capítulo está dividido em duas partes: a primeira trata do surgimento dos estudos científicos modernos dos fenômenos atmosféricos, da criação das categorias de tempo e clima e das primeiras tentativas de prever o tempo, quando redes sociotécnicas surgem e se expandem globalmente, com o uso da estatística, da rede telégrafos, padronização de tecnologia das medições e das categorias científicas.

As principais obras que nos guiarão por este capítulo são as dos historiadores como James Fleming, *Historical Perspectives of Climate Change* (1998), Mike Hulme, *Why we disagree about Climate Change - understanding controversy*,

inaction and opportunity (2009), Paul Edwards, *A Vast Machine* (2010) mas também artigos e livros de Barboza (2006), Demeritt (2001), Dörries (2011), Edwards (2006), Fleming (2006), Gleick (1987), Howkins (2011), Hulme (2011), Hulme et al. (2009), Lahsen (2009a), Masco (2010), Santos (2005).

Um panorama geral das origens históricas da ciência do tempo e do clima foi apresentado, assim como de suas categorias, técnicas e instrumentos, das redes sociotécnicas nacionais e internacionais de pesquisa, tendo sempre como foco as narrativas científicas das mudanças antropogênicas do clima. O foco da leitura e da análise foram os grupos majoritários de pesquisa de mudanças climáticas antropogênicas e seus principais produtos científicos, os modelos computacionais do clima. Abordamos especialmente o surgimento das diferentes relações entre o que se convencionou como natural e como humano nos sistemas climáticos, durante a história da ciência climatológica

O intuito não foi o de apresentar uma versão que pretendesse esgotar a história da ciência climatológica, o que necessitaria de anos de pesquisa historiográfica ampla e especializada. A história das ciências nos mostra uma série de processos intelectuais em constante revisão e construção e a análise detalhada de fontes históricas primárias, como feita pelos autores mencionados acima, é essencial, mas foge completamente do escopo e do objetivo desta pesquisa.

Não foram analisados relatos das ciências do clima e das mudanças climáticas dos grupos minoritários ou às margens dos grandes centros de produção de modelagem climática. O critério de escolha foi delineado a partir das narrativas de origem apresentadas publicamente ou privadamente em entrevistas com meus interlocutores, em que certas ciências das mudanças climáticas, certas práticas de modelagem computacional e certos cientistas e centros de produção científica dos séculos XIX e XX foram apontados como centrais para os grupos de ciência da mudança climática mapeados, em detrimento de outros autores, ciências e práticas.

A segunda parte foi escrita a partir da análise de entrevistas realizadas com estes interlocutores. As entrevistas abertas foram realizadas entre outubro de 2012 e janeiro de 2014. As questões foram formuladas a partir de uma pesquisa sobre as trajetórias acadêmicas dos próprios pesquisadores (formação, participação em projetos de pesquisa, publicação de artigos científicos e relatórios); a partir da

leitura do material bibliográfico de etnografias realizadas em laboratórios de climatologia ao redor do mundo (LAHSEN, 2005; SHACKLEY; WYNNE, 1996; SHACKLEY et al., 1998; SUNDBERG, 2007a, 2007b, 2009, 2011); e a partir de questões que surgiram após a leitura dos relatos históricos tratados no segundo e no terceiro capítulos e dos autores da teoria do ator-rede já mencionados.

Apesar da mudança de objetivo, o mapeamento inicial da controvérsia científica, dos principais autores envolvidos nas controvérsias públicas e dos principais representantes das redes científicas de mudanças climáticas foi essencial como ponto de partida desta dissertação. Alguns destes pesquisadores, que apresentaremos a seguir, tiveram bastante visibilidade pública durante controvérsias na mídia contra os pesquisadores chamados de céticos do clima – por meio de entrevistas a grandes veículos de mídia ou escrevendo artigos de opinião.

O mapeamento permitiu o contato com pesquisadores centrais das redes científicas de mudanças climáticas em São Paulo, responsáveis pelo desenho de projetos de modelagem climática, pela importação, desenvolvimento e uso de modelos climáticos estrangeiros e nacionais, compra de máquinas necessárias para rodar tais modelos e publicação de análises a partir das simulações climáticas, além da coordenação das principais de redes científicas, apresentadas no terceiro capítulo, assim como a representação brasileira em fóruns científicos internacionais.

Foram selecionados alguns pesquisadores envolvidos na produção de conhecimento científico sobre mudanças climáticas com base em dois critérios: eles deveriam estar envolvidos na produção de conhecimento sobre as chamadas bases científicas físicas das mudanças climáticas, dedicados a pesquisar suas causas, atribuições e aos cenários climáticos futuros, e não sobre temas afins; eles deveriam ser vinculados a alguma instituição pública de pesquisa no Estado de São Paulo. Os critérios serão explicados a seguir.

Sobre o primeiro item, a divisão dos autores, revisores e colaboradores dos relatórios do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas da ONU (IPCC) é feita desde o Terceiro Relatório de Avaliação (IPCC, 2001) entre quatro grupos de trabalho: o chamado Grupo de Trabalho 1, os pesquisadores que estudam as chamadas bases científicas para a detecção e atribuição das mudanças climáticas; o Grupo de Trabalho 2, os que estudam a vulnerabilidade e os impactos presentes e

futuros nos sistemas geológicos, biológicos ou sociais, assim como adaptação às mudanças; o Grupo de Trabalho 3, os que estudam a mitigação; e o Grupo de Trabalho responsável pela síntese de todos os relatórios, voltada especialmente para formuladores de políticas públicas (IPCC, 2012).

Se há um número crescente de pesquisas em diversas áreas do conhecimento sob o guarda-chuva temático das mudanças climáticas (SHACKLEY et al., 1998; SUNDBERG, 2007a), somente algumas tratam diretamente da ciência da detecção e atribuição das causas das mudanças climáticas. Os cientistas associados à detecção e a atribuição das bases científicas, definidos pelo IPCC como Grupo de Trabalho 1, são aqueles que produzem explicações das causas, das origens e das variações e determinações do clima sob influência do homem nos ciclos naturais da Terra. Eles normalmente fazem parte do que chamamos de ciências naturais, como a física, a química, a meteorologia, a oceanografia, a geologia e a climatologia. No Brasil, a divisão de redes científicas, como o Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC), por exemplo, seguiu as divisões do IPCC⁴.

Circunscrevemos o recorte deste projeto em torno de pesquisadores vinculados a esse grupo. A eles que a maior parte do financiamento em tecnologia de ponta é dedicada – modelos computacionais, supercomputadores, satélites e torres de detecção. São eles que produzem modelos e narrativas do futuro, simulando o clima das próximas décadas e mobilizando cenários a partir de diferentes projeções de impactos antropogênicos no clima.

É importante ressaltar que as pesquisas sobre mudanças climáticas não se reduzem às ciências da Terra ou à detecção e atribuição de causas e fatores. Há uma infinidade de estudos nas outras áreas do conhecimento, por exemplo, sobre o impacto das mudanças climáticas na biosfera, biodiversidade, produção agropecuária, economia, saúde pública, questões demográficas, políticas e urbanas, assim como estudos sobre mitigação e adaptação a essas mudanças simuladas (FAPESP, 2008). Essas pesquisas, agrupadas pelo IPCC nos Grupos de Trabalhos 2 e 3, fundamentam seus estudos nas projeções e simulações produzidas por modelos computacionais ou explicações físicas daqueles cientistas do Grupo 1,

⁴ Ver o website do Painel Brasileiro: www.pbmc.coppe.ufrj.br/ e para sua origem, ver a penúltima seção do capítulo 3.

costumeiramente a partir das revisões dos cenários produzidos pelos modelos publicados pelo IPCC e por este motivo estes pesquisadores e seus modelos computacionais podem ser considerados como centros de uma rede sociotécnica muito mais ampla (ver última seção do capítulo 3).

A circunscrição do objeto de pesquisa na comunidade científica paulista se deu por duas razões. A primeira delas decorreu da extensão imensa da rede de mudanças climáticas no Brasil e da impossibilidade de mapear toda a rede em um projeto individual de mestrado com duração de trinta meses. A segunda, menos aleatória, foi devido à comunidade paulista ter se tornado um dos nódulos principais da rede de pesquisas sobre mudanças climáticas no Brasil, por razões institucionais, tecnológicas e de particularidades dos pesquisadores paulistas, como sua inserção em redes mais globais dedicadas ao tema. Pesquisadores, grupos e núcleos de pesquisa e instituições do estado de São Paulo se tornaram peças chave na formulação, coordenação e implementação dos grandes projetos de pesquisa sobre mudanças climáticas.

Entre o número consideravelmente alto de cientistas participantes dessas redes, foi realizado o mapeamento inicial de doze pesquisadores. Com o tempo e os diferentes graus de abertura de cada um deles, centrei-me na análise de dois grupos de pesquisa, com quem entrevistas foram realizadas com seis pesquisadores. Foi feito um acompanhamento de eventos públicos, presencialmente ou virtualmente, quando possível, e a leitura de seus artigos e relatórios. A escolha foi baseada principalmente no rendimento do contato com os informantes e em seu uso da modelagem climática como ferramenta principal de produção científica. Estes dois grupos foram os que se mostraram mais abertos e receptivos a meus contatos.

Um dos grupos, coordenado por Michel, nome fictício⁵, trabalha com modelos regionais, de atmosfera e oceano, adaptados a partir de modelos globais do clima,

⁵ Ao longo desta dissertação utilizamos nomes fictícios. Os nomes são sempre sem sobrenome, e foram aportuguesados a partir das listas de nomes aposentados dos furacões do oceano Atlântico durante as décadas de 1990, 2000 e 2010. Os nomes de ciclones tropicais e extratropicais são dados pelo Comitê de Furacões da Organização Meteorológica Mundial (OMM) para cada oceano. Todos os furacões com impacto considerado significativo pela OMM, baseado no número de mortes e desabrigados e nas perdas econômicas e de infraestrutura, têm seus nomes retirados da lista – um novo nome para a letra correspondente é escolhido na reunião seguinte da OMM. Um dos maiores impactos previstos nos cenários modelados pelos cientistas que defendem a existência das mudanças

buscando a produção de melhores cenários futuros para o território brasileiro e América do Sul, para os próximos cem anos – com base nos cenários de emissões de gases do efeito-estufa, impactos antropogênicos no território.

O contato com Michel ocorreu após a entrevista em junho de 2012 feita com alunos de pós-graduação de um programa de pesquisas sobre clima de um dos institutos paulistas mapeados e depois das entrevistas com professores, como Catarina e Luís, em outubro de 2012, que apontavam à importância de Michel nessas redes e seu papel de coordenação. A maior parte dos estudantes, como eles mesmos me informaram, não realizam estudos de mudanças climáticas – devido ao grau de complexidade envolvido no desenvolvimento e no uso de modelos computacionais de circulação geral (GCMs).

Michel coordenou, em conjunto com outros pesquisadores sêniores e professores titulares, diversos projetos de detecção e atribuição de mudanças climáticas na América do Sul, a partir da importação e modificação de modelos computacionais estrangeiros a partir dos anos 2000.

O outro grupo, coordenado por Gustavo, pesquisador sênior e de que Ivan, professor, faz parte, busca uma melhor compreensão dos processos físico-químicos envolvidos em torno de elementos incertos dos modelos numéricos climáticos, como nuvens, aerossóis, chuva, focando-se nas particularidades destes fenômenos no território brasileiro. Este grupo, diferente do grupo de Michel, está centrado no desenvolvimento de um modelo climático inteiramente nacional ao invés do uso modificado de um modelo importado⁶.

climáticas contemporâneas é a do aumento do número de fenômenos climáticos intensos no mundo. Os anos 2000 foram testemunhos à maior quantidade de furacões e de furacões de grande impacto já registrados na história. Inclusive houve a ocorrência de um ciclone na costa brasileira, o Catarina, no ano de 2004 – fenômeno nunca antes registrado e considerado extremamente raro. Fonte: Centro Nacional de Dados Climáticos da Administração Nacional Oceânica e Atmosférica Norte-americana (NCDC/NOAA) <http://www.ncdc.noaa.gov/> (acesso em janeiro de 2014). É importante destacar que também não serão mencionados os nomes e origens das instituições parceiras, nem os nomes dos modelos utilizados, para preservar o anonimato dos pesquisadores. Em uma comunidade tão pequena, é muito fácil traçar a identidade de um pesquisador, analisando quem é a rede de parceiros, modelos e máquinas que ele tece ao seu redor.

⁶ Para uma história sobre o desenvolvimento de um modelo brasileiro do clima, ver o capítulo 3, mas principalmente o trabalho apresentado por Marko S. A. Monteiro e Jean H. Miguel, “Modelos do Clima, Modelos Políticos: Uma breve historiografia da previsão numérica e modelagem climática no CPTEC/INPE” (2013) na IV REACT em 2013.

Encontrei bastante dificuldade de realizar trabalho de campo dentro dos locais de produção científica. A maior parte dos pesquisadores, como veremos no capítulo quarto, têm um regime de trabalho diferente daqueles encontrados em laboratórios de bancadas como os etnografados por Bruno Latour. Os próprios pesquisadores argumentam que não fazem parte de laboratórios no sentido estrito da palavra. Trabalham muito em seus computadores, utilizando bancos de dados, a Internet, enviando e-mails e trabalhando em dados, programas e equações. Pesquisadores como Michel e Catarina não rodam atualmente modelos climáticos, mas desenvolveram trabalhos importantes com isso na década de 2000. Por isso, esta pesquisa acabou tendo um forte grau de dependência das entrevistas.

Mesmo assim, as questões levantadas durante as entrevistas com estes pesquisadores, assim como na participação desses pesquisadores em eventos científicos públicos e na escrita de relatórios científicos permitiu que fosse redigida uma descrição sobre os fatores sociais e tecnocientíficos importantes para a produção científica, assim como as relações entre fatores naturais e dimensões humanas nos relatos produzidos a partir da modelagem climática para estes pesquisadores.

Foi feita uma discussão, à luz da obra de Latour e os demais autores de *science studies* mencionados acima, dos diferentes entrelaçamentos entre humanos, teorias científicas, fenômenos naturais, máquinas produzidos pela rede científica de modelos climáticos, compreendidos nesta argumentação como um novo tipo de laboratório, virtual, diferente daquele tradicionalmente estudado pelas etnografias de laboratório.

Na conclusão, exploraremos os alcances das diferentes construções de natureza e sociedade produzidas e relatadas nos capítulos anteriores, na história da ciência climática apresentada nos capítulos 2 e 3 e na produção científica da modelagem climática em São Paulo, no capítulo 4. As narrativas científicas geradas por essa produção criam novas associações entre natureza e sociedade tanto sobre o passado, como sobre o presente e o futuro, estabelecendo novas fronteiras, ao mesmo tempo em que mantém algumas fronteiras antigas entre os domínios ontológicos.

Seguindo os relatos desses cientistas, serão apresentadas as diferentes barreiras existentes quando suas narrativas de natureza e sociedade circulam por outras redes

e outros atores para além de suas próprias redes sociotécnicas. As mudanças climáticas foram colocadas no centro de discussões sobre a descarbonização da economia e a preservação ambiental no Brasil, assim como no resto do mundo, o que geram novas controvérsias políticas e científicas nos setores da política ambiental, energética, industrial, urbana e agropecuária.

Se a controvérsia brasileira entre cientistas que estudam esse tema não encontrou espaço no meio acadêmico, existindo um certo consenso na comunidade tecnocientífica e de política científica no Brasil sobre a mudança climática antropogênica, seus impactos e a necessidade de mitigação e adaptação e transformação de nossas práticas e nossos discursos para combater os riscos apresentados, o mesmo não pode ser dito para estes outros setores, que ainda impõem muita resistência ao tipo de narrativa produzido por estes cientistas.

Este encontro conflituoso e controverso entre a ciência da mudança climática e outras redes sociotécnicas e políticas demanda a continuidade desta pesquisa no futuro, assim como pesquisas em ciência social que estudem a coprodução de ciência e política, no que tange os riscos e as incertezas para o futuro apresentados pela narrativas que apontam a interferência do homem nos ciclos climáticas e as mudanças dos padrões climáticos e ambientais (LAHSEN, 2007; TADDEI, 2008, 2012).

1 NARRATIVAS MISTAS

Na página quatro do jornal, leio que as campanhas de [medições] sobre a Antártida vão mal este ano: o buraco na camada de ozônio aumentou perigosamente. Lendo um pouco mais adiante, passo dos químicos que lidam com a alta atmosfera para os executivos da Atochem e Monsanto, que estão modificando suas linhas de produção para substituir os inocentes clorofluorcarbonetos, acusados de crime contra a ecosfera. Alguns parágrafos à frente, é a vez dos chefes de Estado dos grandes países industrializados se meterem com química, refrigeradores, aerossóis e gases inertes. Contudo, na parte de baixo da coluna, vejo que os meteorologistas não

*concordam mais com os químicos e falam de variações cíclicas. Subitamente os industriais não sabem o que fazer. Será preciso esperar? Já é tarde demais? Mais abaixo, os países do Terceiro Mundo e os ecologistas metem sua colher e falam de tratados internacionais, direito das gerações futuras, direito ao desenvolvimento e moratórias (LATOURET, 1994, p. 7).*⁷

As mudanças climáticas, de acordo com o geógrafo inglês Mike Hulme⁸, retraçam as antigas fronteiras modernistas entre o político e o científico. Assistimos a seu surgimento como um fenômeno ao mesmo tempo físico e social (HULME, 2009, p. xxv).

A literatura científica analisada por cientistas de todo o mundo, reunidos periodicamente pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC), convocado em 1988 por duas organizações internacionais, a Organização Mundial de Meteorologia (OMM) e o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (Pnuma), identifica o aquecimento das últimas décadas das temperaturas médias globais como sendo decorrente do aumento da concentração de certos gases, como o dióxido de carbono, na atmosfera terrestre (IPCC, 1992, 1995, 2001, 2007).

De acordo com os relatórios deste fórum científico internacional, o aumento da concentração deste gases coincide com o advento da era industrial em meados do século XIX. Com esta revolução tecnológica, houve o início da queima em larga escala de combustíveis fósseis, carvão e petróleo principalmente, para a produção mais eficiente de energia para as indústrias e os transportes. A queima destes combustíveis fósseis nos motores gera calor, a energia que cria o movimento, e emite gases, principalmente o gás carbônico, como resíduo dos processos termodinâmicos.

⁷ Todas as citações de texto originalmente em língua portuguesa e publicadas antes de 2009 tiveram suas grafias adequadas às novas regras ortográficas do Novo Acordo Ortográfico de Língua Portuguesa, assinado pelo Brasil em 1993 e vigentes desde 2012. Todas as citações de texto originalmente em língua estrangeira foram traduzidas livremente pelo autor e incorporadas ao textos, em todos os casos em que não havia traduções publicadas no mercado editorial brasileiro ou nos casos de discordância em relação à tradução existente.

⁸ Ex-diretor e fundador do Centro Tyndall, centro de estudos interdisciplinares de mudanças climáticas do governo britânico. Pesquisador de ciências naturais ao longo de sua carreira acadêmica, Hulme cursou pós-graduação em história da ciências ao sair da diretoria do Centro Tyndall. Sua tese resultou na obra *Why We Disagree about Climate Change?* (2009), publicada pela Cambridge University Press, e citada amplamente neste trabalho.

O crescimento demográfico mundial, a expansão da produção e consumo de produtos manufaturados, assim como dos transportes de bens e pessoas em escala global, regional e local produziram mudanças globais do uso do solo. O desmatamento de matas e florestas e a drenagem das áreas alagadas para a ocupação urbano-industrial do espaço também são considerados, ao lado da queima de combustíveis, importantes fontes de gás carbônico.

Como veremos no Capítulo 2, os cientistas reunidos em torno destas redes internacionais afirmam que esses gases são encontrados em baixa concentração na atmosfera, mas grande o suficiente para reter parte da radiação solar que, depois de absorvida parcialmente pela superfície terrestre, reflete de volta ao espaço. Este fenômeno torna a superfície do planeta mais quente e mantém o clima mais estável e recebeu o nome efeito-estufa.

Historiadores da ciência (EDWARDS, 2006; FLEMING, 1998) traçaram o surgimento de teorias das alterações do clima pela ação do homem entre naturalistas do século XIX e indicam a lenta aceitação que elas tiveram entre a ciência e a política durante o século XX, como veremos no segundo capítulo. Foi somente na segunda metade do século XX que as mudanças climáticas se tornaram um fenômeno generalizado em nossas sociedades industriais, como veremos no terceiro capítulo.

Segundo Tércio Ambrizzi, professor titular de ciências atmosféricas do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da USP (IAG/USP), e outros autores, “evidências científicas sobre a possibilidade de mudança do clima em nível mundial vêm despertando um interesse crescente no público e na comunidade científica em geral” desde a década de 1980, período em que a Assembleia Geral da Organização das Nações Unidas (ONU) trata do assunto pela primeira vez (AMBRIZZI et al., 2007, p. 10).

Após as narrativas de risco sobre o inverno nuclear⁹, no final da Guerra Fria, e do buraco na camada de ozônio nos anos 1980, hoje redes multidisciplinares e

⁹ Fenômeno previsto por um conjunto de cientistas euro-americanos e soviéticos no início dos anos 1980, que alertavam os governos das grandes potências do risco de um inverno de longa duração, consequência de explosões de bombas nucleares, no caso da deflagração de uma guerra armada entre os Estados Unidos e a União Soviética. A narrativa de risco de interferências perigosas no clima por atividades humanas tem origem na corrida nuclear,

internacionais de pesquisadores exploram os riscos futuros dos efeitos do aquecimento global por meio de cenários e simulações do desenvolvimento do sistema climático. As simulações do clima são a principal forma utilizada por essas redes para afirmar a existência destes riscos. Elas são realizadas com o desenvolvimento e uso dos modelos de circulação geral (GCMs, na sigla em inglês para *General Circulation Models*) atmosféricos e oceânicos, que descrevem o clima global por meio de equações matemáticas.

Segundo essas redes, o processo histórico de aumento da concentração global destes gases faz com que mais radiação seja absorvida pela atmosfera e haja um aquecimento das temperaturas médias globais, instabilizando processos climáticos que ocorriam de forma lenta e cíclica. Se não fizermos nada para alterar as emissões destes gases, dizem esses cientistas, haverá graves consequências para a humanidade a partir do século XXI (“A guide to facts and fictions about climate change,” 2005).

São narrativas repletas de incertezas, mas que convergem na produção de riscos futuros, como o derretimento total das geleiras e das calotas polares, o aumento do nível do mar e a inundação dos grandes centros urbanos, o desaparecimento de países insulares e o aumento da ocorrência de fenômenos climáticos extremos e da quantidade de desastres naturais.

Há muitos exemplos de narrativas de mudanças climáticas na atual literatura científica. No Brasil, há alguns projetos desenvolvidos por cientistas de universidades e institutos de pesquisa públicos a fim de produzir relatórios encomendados pelo setores governamentais. A citação do relatório apresentada a

como veremos no Capítulo 3, seção 3.1. A narrativa de riscos climáticos de uma deflagração nuclear tem sua origem nos anos 1960, mas a rede científica global, cruzando as fronteiras entre Leste e Oeste, e a campanha pela redução do número de armas nucleares surgiram após a hipótese da extinção dos dinossauros ter sido levantada nos anos 1970. Esta hipótese afirmava que o mistério desta extinção em massa teve como causa uma gigantesca explosão criada por o choque de um meteorito, cujos vestígios haviam sido encontrados no Golfo do México, e que seria similar aos efeitos de uma guerra nuclear, ao espalhar detritos pela atmosfera, bloqueando a entrada de luz solar e criando um inverno de proporções globais. A hipótese só foi possível de ser formulada com o desenvolvimento de modelos computacionais que permitiam simular tais processos em escala global – impossíveis de serem experimentados em laboratórios (STENGERS, 2002). Para uma história concisa do “inverno nuclear”, ver o artigo de Masco *Bad Weather: On Planetary Crisis* (2010). Trataremos deste assunto no Capítulo 3.

seguir é ilustrativa quanto ao tipo de narrativa produzido pela ciência climática, apresentando pontos principais sobre a tecnociência as mudanças climáticas e as misturas entre natureza e humanidade e os riscos e consequências decorrentes.

No Brasil, de acordo com o primeiro relatório do subprojeto *Caracterização do Clima Atual e Definição das Alterações Climáticas para o Território Brasileiro ao Longo do Século XXI*¹⁰, do projeto *Mudanças Climáticas Globais e seus Efeitos sobre a Biodiversidade*, encomendado pela Secretaria de Biodiversidade e Florestas do Ministério do Meio Ambiente (SBD/MMA), publicado em 2006, de autoria do climatologista José A. Marengo, do Instituto de Pesquisas Espaciais (Inpe), autor e revisor do IPCC, após um estudo realizado por pesquisadores desse Instituto e da Universidade de São Paulo (USP) e que atualmente fazem parte das principais redes sociotécnicas de ciência de mudanças climáticas no Brasil.

A década de 1990 foi a mais quente desde que as primeiras medições, no fim do século XIX, foram efetuadas. Este aumento nas décadas recentes corresponde ao aumento no uso de combustível fóssil durante este período. Até finais do século XX, o ano de 1998 foi o mais quente desde o início das observações meteorológicas em 1861, com +0.54oC acima da média histórica de 1961-90. Já no século XXI, a temperatura do ar a nível global em 2005 foi de +0.48oC acima da média, sendo este o segundo ano mais quente do período observacional, como afirma a Climate Research Unit da University of East Anglia, [Reino Unido]. O ano de 2003 foi o terceiro mais quente (+0.44oC acima do normal).

Os últimos 11 anos, 1995-2004 (com exceção de 1996) estão entre os mais quentes no período instrumental (...).

Algumas consequências notáveis do aquecimento global foram já observadas, como o derretimento de geleiras nos polos e o aumento de dez centímetros no nível do mar em um século. Uma tendência de aquecimento em todo o mundo, especialmente nas temperaturas mínimas, em grandes cidades do Brasil como São Paulo e Rio de Janeiro, pode ser agravada pela urbanização. Os modelos

¹⁰ Apoiado pelo Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira – PROBIO, financiado pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA), Banco Interamericano de Desenvolvimento Regional (BIRD), CNPq, e pelo *Global Opportunity Fund* (GOF) do Reino Unido, através do projeto “*Using Regional Climate Change Scenarios for Studies on Vulnerability and Adaptation in Brazil and South America*”.

globais de clima projetam para o futuro, ainda com algum grau de incerteza, possíveis mudanças em extremos climáticos, como ondas de calor, ondas de frio, chuvas intensas e enchentes, secas, e mais intensos e/ou frequentes furacões e ciclones tropicais e extratropicais. Exemplos podem ser observados anualmente: as enchentes e ondas de calor da Europa em 2002 e 2003, os invernos intensos da Europa e Ásia nos últimos anos; o furacão Catarina no Brasil em 2004; os intensos e devastadores furacões no Atlântico Tropical Norte em 2005 (Katrina, Rita, Wilma, etc.); as secas no Sudeste do Brasil em 2001, no Sul em 2004, 2005 e 2006, e na Amazônia, em 2005. Estes fenômenos têm sido atribuídos à variabilidade natural do clima, mudanças no uso da terra (desmatamento e urbanização), aquecimento global, aumento da concentração de gases de efeito-estufa e aerossóis na atmosfera.

(...) Desde 1750, nos primórdios da Revolução Industrial, a concentração atmosférica de carbono – o gás que impede que o calor do Sol se dissipe nas camadas mais altas da atmosfera e se perca no espaço – aumentou 31%, e mais da metade desse crescimento ocorreu de cinquenta anos para cá. (...) Os gases do efeito-estufa absorvem parte da energia do Sol, refletida pela superfície do planeta, e a redistribuem em forma de calor através das circulações atmosféricas e oceânicas. Parte da energia é irradiada novamente ao espaço. Qualquer fator que altere esse processo afeta o clima global. Com o aumento das emissões dos gases de efeito-estufa, observado principalmente nos últimos 150 anos, mais calor passou a ficar retido (MARENGO, 2006, pp. 25–26).

Duas medições, realizadas através de instrumentos tecnológicos, a da temperatura, feita desde o século XIX, e as emissões, produzidas pelas queimas de combustíveis fósseis desde o mesmo período, abrem a citação: “a década de 1990 foi a mais quente desde que as primeiras medições, no fim do século XIX, foram efetuadas. Este aumento nas décadas recentes corresponde ao aumento no uso de combustível fóssil durante este período”.

A temperatura, medida instrumental de um fenômeno natural, o aquecimento do ar, é produzida localmente em estações meteorológicas por meio de instrumentos, técnicas e padronizações internacionais, e registrada em bancos de dados históricos. Para falarem de aumentos ou diminuições de temperatura, resultados acima ou abaixo de alguma média, ou em anos mais quentes ou menos quentes, os cientistas

se utilizam de médias históricas, compiladas pela Organização Meteorológica Mundial. A temperatura média global, como veremos, é uma aproximação estatística, obtida por meio desta rede padronizada e calibrada de estações de medição em todo o planeta a partir do final do século XIX – e após o final década de 1970, também por satélites espaciais.¹¹

Essas médias estão repletas de incertezas, pois as redes que as produzem não cobrem completa e uniformemente a superfície do planeta. Há uma compilação robusta de dados há cento e cinquenta anos, mas eles se referem principalmente a estações meteorológicas encontradas em ambos os lados do oceano Atlântico Norte e nas principais cidades do Hemisfério Sul, onde havia administração colonial ou interesse dos Estados nacionais em formação para estimular a produção científica, como o Rio de Janeiro e São Paulo¹².

Essas medidas instrumentais e estatísticas são entidades híbridas de natureza e tecnologia, como afirma a antropóloga britânica Marilyn Strathern (1996). Para a autora, assim como para Latour (1983), invenções são quaisquer fenômenos não-humanos, como o aquecimento do ar, trabalhados pela cultura humana. Estas entidades híbridas são constituídas por um longo esforço de práticas científicas e, nas disputas científicas, são utilizadas para impor fronteiras entre o que faz parte dos dados e o que é poluição e erro - e consequentemente o que será considerado natureza ou humanidade, fato ou artefato.

Se seguirmos na citação, veremos que o relatório traça uma conexão entre as medições de temperatura ascendente com outros fenômenos naturais, o aumento do nível do mar e o derretimento de geleiras. Estes fenômenos observados são outro

¹¹ Trataremos da temperatura média global ao falarmos da constituição das redes internacionais de pesquisa no próximo capítulo, mas cabe ressaltar que desde que o relatório de Marengo foi publicado, novos recordes de temperaturas foram obtidos em quase todos os anos do século XXI. A Administração Nacional Oceânica e Atmosférica (NOAA) dos Estados Unidos afirma que, segundo seus cálculos, nove dos dez anos mais quentes estão no século XXI, sendo 1998 o único do século XX. Com a divulgação dos cálculos de 2013, esse ano entrou como o quarto ano mais quente dos registros, empatado com 2003 e 37º ano consecutivo com temperaturas anuais globais acima da média histórica. 2005 e 2010 são os anos mais quentes pelos registros até hoje. Fonte: <http://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/2013/13> acesso em janeiro de 2014.

¹² Há diversas regiões, como a Sibéria, a Amazônia, e os Oceanos meridionais, com poucos acúmulo de dados históricos, segundo meus informantes e a literatura disponível (BARBOZA, 2006; EDWARDS, 2006; FLEMING, 1998; HOWKINS, 2011).

conjunto de híbridos, pois são produtos de redes históricas de observação padronizada internacionalmente, acúmulo de registros instrumentais e fotográficos das alterações do nível do mar e das extensões de geleiras¹³.

Os modelos numéricos do clima são mencionados em seguida. Por meio de seu uso, observamos os deslocamentos das fronteiras temporais das medições e observações do passado e do presente para os cenários simulados do futuro, produzidos após os modelos serem repetidamente rodados em supercomputadores, e analisados por cientistas em buscas de erros computacionais ou teóricos, comparando-os com dados observados, procurando diminuir as incertezas inerentes às simulações computacionais, simplificações matemáticas da realidade complexa – como veremos no quarto capítulo. Tais modelos:

(...) [Projetam] para o futuro, ainda com algum grau de incerteza, possíveis mudanças em extremos climáticos, como ondas de calor, ondas de frio, chuvas intensas e enchentes, secas, e mais intensos e/ou frequentes furações e ciclones tropicais e extratropicais (MARENGO, 2006, pp. 25–26).

Há uma diferença importante entre cenários e projeções, e previsões. Previsões se referem a um futuro muito próximo, quando as variáveis meteorológicas são bem conhecidas pelas redes de observação e cálculo. Ao se referir a um futuro distante, há a necessidade de se falar em projeções ou cenários climáticos, devido à infinidade de incertezas presentes nos modelos computacionais e suas simulações, o controle muito baixo das variáveis, e a própria natureza caótica dos sistemas climáticos. Muitas vezes, os cientistas usam esses termos de forma intercambiada – o que é apontado pela literatura etnográfica (LAHSEN, 2005).

Apesar do uso de projeção e cenário, ao invés de previsão, os climatologistas fazem uso dessas narrativas de futuro para enquadrar o presente, apontando por meio de um discurso tecnocientífico racional a organização da natureza, reduzindo as incertezas e o caos inerentes ao comportamento do clima. O presente é modificado por esse deslocamento temporal conforme surgem novas preocupações e ansiedades com os riscos dos eventos extremos (TADDEI, 2013).

¹³ Sobre o derretimento das geleiras na Antártida, ver Howkins (2011).

Os cenários são produzidos após os modelos terem sido rodados em supercomputadores potentes o suficiente, contabilizando um conjunto de projeções estimadas das emissões futuras de gases de efeito-estufa – ou, o que eles chamam de “dimensões humanas”. As diferentes projeções são discutidas por comissões do IPCC e são batizadas de “cenários otimistas” ou “pessimistas” – de acordo com o que os cientistas deste órgão consideram como menor ou maior impacto humano nos ciclos naturais. Uma vez prontos os modelos, as simulações do futuro são comparados entre si e comparados novamente aos fenômenos naturais observados e medidos por outros cientistas.

Alguns dos fenômenos extremos observados atualmente, como enchentes e secas intensas, invernos e verões extremos, furacões devastadores ou em locais onde não ocorriam usualmente foram incluídos das narrativas das mudanças climáticas, apesar de ser muito difícil de separar um fenômeno randomicamente extremo de outro produto de mudanças antropogênicas ambientais – questões que serão mais bem exploradas no quarto capítulo.

As mudanças climáticas de origem antropogênica são enredadas no final desta longa citação aos estudos da variabilidade natural do clima e às mudanças no uso da terra, consequentes do desmatamento e da urbanização, para explicar as múltiplas e complexas origens desses fenômenos extremos. Como pudemos ver, essas narrativas sobre o passado, o presente e o futuro de nossa natureza-cultura (LATOUR, 1994) são altamente dependentes do tipo de ciência feita com o uso da modelagem climática computacional, a partir dos cenários simulados gerados por essa produção científica.

Os domínios distintos da modernidade, Natureza, dos fenômenos físicos, e Cultura, das sociedades humanas, passaram a ser definidos pelas redes de práticas e narrativas científicas das mudanças climáticas como estando misturados. Em *Jamais Fomos Modernos*, Bruno Latour (1994) convoca o olhar antropológico, atento às variações e às diferentes composições de natureza e cultura entre diferentes povos, para fundamentar seu projeto de descrever estas novas demarcações de fronteiras ontológicas criadas pelas ciências modernas.

1.1 ANTROPOLOGIA DA MODERNIDADE, ENTRE PESSOAS E COISAS

De acordo com Latour, “a modernidade possui tantos sentidos quanto forem os pensadores ou jornalistas. Ainda assim, todas as definições apontam, de uma forma ou de outra, para a passagem do tempo” (LATOUR, 1994, p. 15). A civilização moderna havia construído como um de seus mitos de origem mais poderosos os grandes divisores entre civilizados e primitivos, natureza e sociedade, ciência e mito, separados pela passagem do tempo dos modernos¹⁴.

Um dos pilares deste mito, compreendido como uma narrativa das origens, é o do conhecimento progressivo e cumulativo das ciências modernas sobre a natureza, organizado em torno dos fatos naturais (*matters of fact*). Um tipo de conhecimento desenvolvido ao longo de séculos pela ciência experimental de Galileu, Newton e seus herdeiros (STENGERS, 2002); pela invenção do recinto laboratorial e da sociedade científica na Inglaterra de Boyle (SCHAFFER; SHAPIN, 1985); e pelo surgimento de uma forma de tratar o conhecimento científico como um espelhamento da natureza – uma imagem objetiva, neutra e realista do mundo.

(...) Tanto em linguagem comum, como em filosofia da ciência, a solidez e a permanência dos fatos naturais residem na ausência da agência humana em seu surgimento. Agentes humanos criam teorias e interpretações, e agentes humanos podem, então, desfazê-las. Mas os fatos naturais são vistos como o próprio “espelho da natureza”. Como no romance ideal de Stendhal, os fatos naturais são definidos como o resultado passivo de um espelho vertido contra a realidade. O que os homens fazem, os homens podem desfazer; mas o que a natureza faz, nenhum homem pode disputar. Identificar o papel da agência humana na criação de um item do conhecimento é identificar a possibilidade de haver outra forma. Com o câmbio da agência pela realidade natural,

¹⁴ Para explorações mais profundas desta categorização moderna da passagem do tempo e as grandes divisões decorrentes, ver Lévi-Strauss, Claude, 2013, “Raça e História” in *Antropologia Estrutural Dois*, Cosac Naify: São Paulo.

*criam-se condições de um consentimento universal e irrevogável*¹⁵ (SCHAFFER; SHAPIN, 1985, p. 23).

Na história dos modernos, o fato natural, como um reflexo a-histórico e não-subjetivo da natureza, deu aos cientistas o poder exclusivo e legítimo ao conhecimento sobre a natureza¹⁶. A-histórico e não subjetivo, porque é desvinculado de sua formulação e de sua fabricação situada em um local, em um tempo e por alguém. O fato natural, como afirma Latour (2000b), em uma obra dedicada à sua construção, *Ciência em Ação*, é transformado de um conhecimento situado em incertezas e disputas em uma modalidade universal desprovida de autor. Afirma-se que a própria natureza muda cria o fato e o método científico o revela, falando em seu nome.

À ciência e a seus cientistas foi relegado o papel de interlocutores oficiais entre a realidade e a sociedade. Para por fim aos debates sobre as explicações de mundo que dividem nossos coletivos, os cientistas passaram a se ver “(...) dotados da mais fabulosa capacidade política jamais inventada: *fazer falar o mundo mudo, dizer a verdade sem ser discutida, pôr fim aos debates intermináveis por uma forma indiscutível de autoridade, que se limitaria às próprias coisas*” (LATOUR, 2004, p. 34 grifo do autor).

É o triplo poder de que fala a filósofa belga Isabelle Stengers sobre a invenção experimental, força por trás da criação dos laboratórios e da crítica da ciência moderna. “Este é o próprio sentido do acontecimento constituído pela invenção experimental: *a invenção do poder de conferir às coisas o poder de conferir ao experimentador o poder de falar em seu nome*” (STENGERS, 2002, p. 108, grifo do autor).

¹⁵ No original: “(...) In common speech, as in the philosophy of science, the solidity and permanence of matters of fact reside in the absence of human agency in their coming to be. Human agents make theories and interpretations, and human agents therefore may unmake them. But matters of fact are regarded as the very "mirror of nature." Like Stendhal's ideal novel, matters of fact are held to be the passive result of holding a mirror up to reality. What men make, men may unmake; but what nature makes no man may dispute. To identify the role of human agency in the making of an item of knowledge is to identify the possibility of its being otherwise. To shift the agency onto natural reality is to stipulate the grounds for universal and irrevocable assent”.

¹⁶ Uma espécie de atualização do antigo mito platônico da Caverna, segundo Latour (2004), em que alguns poucos homens têm o poder de libertar os outros dos grilhões das ilusões.

“Os cientistas reconhecem como única "autoridade" a "natureza", os fenômenos com os quais eles têm de lidar, mas sabem que a possibilidade desta "autoridade" de exercer autoridade não está dada. Cabe a eles fazer da natureza autoridade.” (p. 113).

Ao mesmo tempo em que apartam-se a natureza e seus fatos dos homens e sua história, cria-se outro grande divisor, mantendo a ciência dita legítima apartada do mundo do mito, da religião, da opinião, e de tudo o que foi considerado pseudociência e charlatanismo – todos envoltos em um excesso de subjetividade e autoria, coletiva ou individual (STENGERS, 2002). Na divisão disciplinar das ciências, coube às ciências humanas o papel de analisar tudo isso que não era fato natural, e especificamente à antropologia o papel de estudar os outros coletivos, envoltos em mitos e apartados do conhecimento científico.

Justamente a antropologia serviria de um modo de olhar caro à qualquer um que se aventurasse em observar o mundo da produção dos fatos científicos. Latour vai propor sua tese central no ensaio *Jamais Fomos Modernos* (1994) que a separação modernista entre as ciências naturais, e seus relatos da universalidade e racionalidade dos fatos, e as ciências das culturas e sociedades, imersas em disputas, crenças e opiniões, indicava apenas a parcela oficial da modernidade.

Seu método era o de adotar um olhar antropológico para as ciências, o que abriria a possibilidade de cientistas humanos tratarem das ligações íntimas entre mundos de natureza e cultura nas práticas científicas. Sua hipótese era a de que a modernidade só havia se desenvolvido por meio de dois trabalhos conjuntos: as práticas que misturam oficiosamente elementos heterogêneos para erguer e fortalecer mundos, invenções e redes, e as práticas que oficialmente purificam os elementos entre as duas zonas ontológicas distintas de natureza e sociedade.

Associando diferentes elementos humanos e não-humanos em seus relatos sobre estas associações e misturas produzidas pela ciência, antes de suas purificações, Bruno Latour tornou-se um dos mais conhecidos autores a pensar sobre possibilidades de se transpor as barreiras disciplinares. Seu projeto foi inicialmente batizado de antropologia simétrica e tinha por intuito não reduzir as descrições das ciências naturais às explicações sociológicas. Para ele, as ciências naturais e as ciências sociais manteriam erguidas suas barreiras, caso continuassem

explicando o mundo por meio ou de fatos naturais e ou de relações sociais, respectivamente e exclusivamente.

Para dar cabo de tal projeto, Latour associou duas tendências dos estudos sociais da ciência: os *laboratory studies*, estudos etnográficos da prática científica dentro em seus locais de produção, que ele havia ajudado a fundar e os estudos das controvérsias, que analisavam a ciência controversa, em que nenhum dos lados detém a exclusividade de confirmar o que é a natureza e quais são os fatos naturais, antes da resolução da disputa (HESS, 1997).

Dos primeiros, como em seu estudo com Steve Woolgar (LATOUR; WOOLGAR, 1979), ele promove o laboratório ao ponto de partida central para a análise do mundo moderno - contra a tendência da antropologia de limitar as análises etnográficas da modernidade às periferias do sistema. Ponto de partida, porque ele não encerra sua análise no que acontece dentro dos laboratórios, mas defende que a mesma metodologia aplicada nos microestudos das práticas científicas, seja utilizada para estudar a sociedade moderna para além das paredes laboratoriais, propondo uma solução à dicotomia entre “contexto” e “conteúdo” (LATOUR, 1983, pp. 141–143).

Para Latour, os estudos externalistas, com explicações de tipo “contexto”, tentavam resolver a produção do conhecimento científico por meio de “contextos sociais”, “relações de poder”, “ideologias”, “instituições”, uma série de elementos externos ao laboratório, cujas vozes internas se tornavam mudas. Já os estudos internalistas, de tipo “conteúdo”, buscavam apontar fatores especiais de dentro dos laboratórios, como racionalidade, verdade, e universalidade dos fatos naturais, como causa do conhecimento – mantendo os laboratórios ilhados de todas as penosas relações que eles haviam construído com governo agências financiadoras, empresas de tecnologia e grupos sociais para circular seus resultados, dando força aos fatos.

Dos segundos, ele promove a ciência em disputa, controversa, e não resolvida como ponto de partida da análise. David Bloor (1999), Harry Collins e Trevor Pinch (2010), Steven Shapin e Simon Schaffer (1985), e outros pesquisadores, chamaram a atenção nos anos setenta e oitenta para os estudos de controvérsias entre grupos de cientistas como objeto privilegiado para a análise, que eles batizaram de simétrica, das construções dos fatos científicos. Para eles, um fato científico é consequência da

resolução das controvérsias entre grupos opositores e não sua causa, e as ideias que forem capazes de manter as alianças mais eficazes serão aquelas consideradas mais tarde como melhor conhecimento ou “verdade” (HESS, 1997, p. 85).

Foi a partir da associação entre estudos da produção científica, dentro e fora dos laboratórios, e das controvérsias e disputas, que, em meados dos anos 1980, Latour (1983, 1988) e Michel Callon (1986), desenvolveram a abordagem conhecida como Teoria do Ator-Rede (ANT, na sigla em inglês).

Para eles, os estudos sociais das ciências naturais eram exclusivamente antropocêntricos e mantinham de fora toda a série de entidades não-humanas que compõem o mundo cotidiano dos cientistas – moléculas químicas, compostos, cobaias, instrumentos, computadores, amostras. A chamada virada social havia sido importante para nos mostrar que as ciências são sistemas sociais de representação, entretanto, substituía-se um mundo povoado por fatos racionais, anônimos, universais e objetivos por um mundo povoado por homens, história, conflitos.

Era necessário uma virada heterogênea para trazer as coisas de volta ao mundo social dos modernos (CALLON, 1986; LATOUR & WEIBEL, 2005; LATOUR, 1992, 2000b, 2001; LAW, 1992). Se a antropologia é a filosofia com pessoas dentro, na frase de Tim Ingold no editorial da revista inglesa *Man* em 1992, poderíamos dizer que a teoria do ator-rede são antropologia com as coisas dentro.

A ANT promove uma linguagem da heterogeneidade, de interações e associações. Híbrido, um dos termos caros nos primeiros estudos, foi associado por Latour ao conceito de rede, possibilitando narrativas que mostravam os efeitos produzidos pela aliança de entidades humanas e não-humanas na constituição de objetos ou eventos científicos (STRATHERN, 1996, pp. 525–526). Rede foi uma solução encontrada por Latour (1983, 1994, 2001) e colegas (CALLON; LATOUR, 1981; CALLON, 1986; LAW, 1989, 1992) para compor os mapeamentos destas interações, sem fazer uso de categorias, como sistema e estrutura, que evocavam essências prontas, e sem fazer uso da agência pensada como exclusivamente humana.

Sobre o ator-rede, Marilyn Strathern escreve:

*O conceito de rede invoca a ramificação de elementos heterogêneos que constituem um tal objeto, evento, ou amarração de circunstâncias, mantidos juntos por interações sociais: é, em suma, um híbrido imaginado em um estado socialmente estendido. O conceito de rede dá um rendimento analítico a essas interações*¹⁷ (STRATHERN, 1996, p. 521).

As redes não seriam apenas rizomas que enredariam o mundo interno dos laboratórios e o mundo externo do social, compreendidos como entidades distintas, mas uma categoria de análise em que atores ou *actantes*, na definição de Latour para atores humanos e não-humanos, e suas conexões, sejam eles feitas por indivíduos ou coletivos, merecem o mesmo tipo de tratamento metodológico – ampliando consideravelmente o conceito de ação. As redes de *actantes* da ANT produzem a natureza e a sociedade – diferente das abordagens modernidades, em que natureza produz os fatos, enquanto as sociedades produzem os homens.

Para Latour, na etapa controversa da ciência aquecida, tanto os fatos naturais, como as relações sociais estão em jogo – não há Natureza ou Sociedade pré-determinadas, mas uma multiplicidade de relações e disputas para promover diferentes naturezas e sociedades. Na etapa da ciência já resolvida, estabilizada pela rede, o cientista natural detém a exclusividade de dizer o que é a verdadeira natureza, e ao cientista social recai o papel de dizer o que é a sociedade, mantendo as barreiras disciplinares erguidas e impedindo o diálogo. São estes dois momentos das ciências, explorados etnograficamente, que fundamentam sua tese sobre os dois conjuntos de práticas da modernidade e que ele pretende explorar com sua antropologia de pessoas e coisas.

Para Latour, foi a crise ambiental que havia tornado possível a descrição de ambos os conjuntos de práticas da modernidade. A crise da política e da natureza, após o simbólico ano de 1989, havia posto em questão a autodescrição dos modernos de acordo com suas velhas divisões (LATOUR, 1994). A ciência por trás da crise e das mudanças ambientais surge como um encontro conflituoso entre

¹⁷ No original: “The concept of network summons the tracery of heterogenous elements that constitute such an object or event, or string of circumstances, held together by social interactions: it is, in short, a hybrid imagined in a socially extended state. The concept of network gives analytical purchase on those interactions.”

antigos mundos purificados. Parafraseando Latour (1994, p. 12) sobre o buraco na camada de ozônio, podemos dizer que as mudanças ambientais são demasiadas naturais e sociais para serem reduzidas a um ou a outro efeito de sentido.

A “era das máquinas”, presente há muito tempo, se torna, para Strathern, “ubíqua, ameaçadora, capacitadora, empoderadora, o presságio de uma nova era”¹⁸ (1996, p. 519).

Parafraseando perguntas feitas por Bruno Latour em *Jamais Fomos Modernos*, seriam as mudanças climáticas e sua principal consequência, o aquecimento global, naturais ou sociais? Seriam fenômenos naturais, estudados pela física e química da atmosfera e dos oceanos, ou criadas por atividades humanas? As mudanças climáticas devem ser uma questão de conhecimento exclusivamente debatida entre os pares científicos de físicos, químicos, oceanógrafos, climatologistas e meteorologistas? Ou, devido às consequências drásticas que elas poderão nos trazer, seriam uma questão política, debatidas publicamente a fim de discutir a chamada questão humana por trás de suas causas e de sua mitigação? As mudanças climáticas são locais, frutos do crescimento urbano e industrial desenfreado em territórios ocupados pela presença humana, ou são globais, decorrentes da distribuição global das emissões de gases de efeito estufa, devendo, portanto, ser levadas aos fóruns políticos internacionais?

Estes eventos heterogêneos estão amarrados às redes científicas que os produzem, as pesquisas de cientistas, institutos, fóruns internacionais, às redes tecnológicas, em que são experimentados, com instrumentos de medição, modelos climáticos computacionais, supercomputadores, satélites espaciais, e às redes de não-humanos, o aquecimento do ar e dos oceanos, das moléculas gasosas e materiais particulados, e fenômenos climáticos de extremos de precipitação, seca, ou temperatura. Essa dissertação procura apresentar os principais pontos presentes na produção sociotécnicas das mudanças climáticas em São Paulo.

¹⁸ No original: “(...) the machine age (...)”. “(...) It is ubiquitous, threatening, enabling, empowering, an omen of a new era.”

1.2 COMPOSIÇÕES DA CRISE AMBIENTAL

Uma das genealogias possíveis para a distinção entre ambientes naturais e humanos pode ser traçada a partir da origem das ciências modernas, e divisão entre a natureza, sujeita a suas próprias leis universais e sempiterna, e a humanidade, histórica, conflituosa, criadora (cf. PRIGOGINE; STENGERS, 1984).

Outra genealogia pode ser feita a partir da origem da narrativa do mundo selvagem (*wilderness*) oitocentista. O ambientalismo criado por Thoreau e Muir foi uma forma de proteger parte de um suposto ambiente natural frente à crescente Revolução Industrial e à expansão do modo de vida urbano (SCHAMA, 1996, pp. 17–30). O historiador Simon Schama escreve que a criação e a demarcação do parque Yosemite, o primeiro parque nacional tipicamente moderno, fruto dessa concepção purificada de natureza livre de influência humana, resultou na expulsão tanto das mineradoras dos homens brancos, que degradavam a natureza, quanto dos índios Ahwahneechee, que habitavam a região (p. 18). Tradicionalmente representadas como o progresso promissor da civilização ocidental, a ciência e a tecnologia modernas foram apontadas por esse ambientalismo romântico como causas das perturbações ao ambiente natural visto como purificado.

Entretanto, segundo Sayre (2012), no início do século XX, um conjunto de teorias e práticas científicas, inicialmente minoritárias, passaram a tratar do profundo entrelaçamento entre atividades e ocupações humanas, as “políticas do antropogênico”, e os fenômenos terrestres, uma fusão da natureza e da humanidade, que deixa os polos irreconhecíveis a partir de nossos conceitos tradicionais

As narrativas científicas do antropogênico colocam em risco esta definição de natureza pura e original, intocada pelos humanos e a ser preservada ou protegida (SAYRE, 2012, p.61). Sayre percebeu que a ideia principal que fundamenta diversos textos fundadores do pensamento geológico e ecológico do século XX é a de que humanos, o clima, a biosfera não-humana e os solos são vistos como distintos, porém altamente interativos (p. 60). A natureza age em seus próprios ciclos e os humanos são responsáveis por mudanças nestes ciclos desde, segundo algumas correntes científicas, a pré-história.

Segundo Sayre, a ideia do antropogênico não é exclusiva das últimas três décadas e não se refere exclusivamente às influências industriais. Esta categoria já estava presente em alguns estudos paleontológicos, biológicos, arqueológicos e historiográficos que apontavam para a coevolução da espécie humana com a vegetação, os animais e os solos. O ambiente habitado passou a ser compreendido por alguns cientistas como sendo concomitantemente cultural e natural.

Exemplos disso são as extinções em massa dos grandes mamíferos durante a chegada do homem à América; a alteração da composição da atmosfera há oito mil anos pela derrubada de florestas durante o surgimento das primeiras áreas urbanas e das primeiras culturas agropecuárias e a explosão demográfica, ou, para fazer uso de um exemplo doméstico, as terras pretas amazônicas, tipos de solo encontrados em diversas regiões da floresta originários de técnicas ameríndias (SAYRE, 2012, p. 60).

O surgimento do Antropoceno é um elemento recente importante para esta genealogia do antropogênico. Trata-se de uma nova categoria de classificação das eras geológicas, proposta por Paul J. Crutzen¹⁹ e Eugene Stoermer no ano 2000 (CRUTZEN; STOERMER, 2000; CRUTZEN, 2002). O Antropoceno refere-se ao novo período de pouco mais de duzentos anos de idade em que os ciclos biogeoquímicos foram profundamente alterados pelos humanos e coincide com a invenção da máquina a vapor por Watt em 1784. Eventualmente as atividades urbanas e industriais estarão registradas nos sedimentos, rochas e fósseis no futuro, da mesma forma que os climatologistas nos dizem que a alteração da composição da atmosfera e suas consequências serão sentidas por muitos séculos.

“Os pontos principais a serem extraídos do Antropoceno têm menos a ver com quando ele teve início, do que com a maneira como ele afeta as suposições subjacentes que os cientistas fazem sobre a compreensão do mundo”²⁰ (SAYRE, 2012, p. 63). Este conjunto de categorias, como antropogênico e o Antropoceno têm

¹⁹ Químico atmosférico holandês, Prêmio Nobel de Química em 1995, por seus trabalhos sobre o buraco na camada de ozônio.

²⁰ No original: “The key points to draw from the Anthropocene have less to do with when it began than with how it affects the underlying assumptions that scientists make about understanding the world”.

ligações importantes com as categorias dos cientistas das mudanças climáticas e estão presentes nas políticas atuais da crise ambiental.

Os sistemas da Terra, em uma definição usual dos cientistas que estudam as mudanças climáticas mapeados por este projeto, não podem mais excluir os humanos. Os humanos são a causa das mudanças deste sistema natureza compreendida como estática ou cíclica, mudanças que levam ao progresso ou à degeneração (SAYRE, 2012, p. 60). O “sistema terrestre” é o termo utilizado para o conjunto de processos atmosféricos, oceânicos, geológicos, biogeoquímicos, biológicos e humanos, que compõem a totalidade dos fenômenos de nosso planeta (NOBRE et al., 2010) e o clima é compreendido como um produto das interações entre estes processos naturais e humanos.

Seguindo essa tendência na ciência natural, os pesquisadores de mudanças ambientais e climáticas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), Diógenes S. Alves (2008, 2012 a, 2012 b) e Carlos Nobre, atores centrais das redes de mudanças climáticas brasileiras, definem a ciência do sistema terrestre como uma nova abordagem interdisciplinar que não pode tratar dos processos naturais e das dimensões humanas de forma apartada, e é necessária para conduzir estudos sobre a crise ambiental. Essa nova ciência do sistema terrestre inclusive está pautando a constituição institucional de institutos de pesquisa, como o Inpe, na medida em que novos programas de pesquisa são criados, com realocações de recursos materiais e humanos (MONTEIRO; MIGUEL, 2013).

Não se trata apenas de uma forma de pensar, mas também de agir, de forma que o principal produto da ciência do sistema terrestre são os modelos computacionais, utilizados para a realização de experimentos de observação, compreensão e predição das mudanças ambientais globais, envolvendo interações entre elementos não-humanos e humanos (ALVES, 2012b).

Em artigo para o *Bulletin of the American Meteorological Society* de 2010, assinado por Carlos Nobre, Myanna Lahsen, e Jean Ometto, do Inpe, Guy Brasseur²¹ e outros autores, lemos que:

²¹ Um dos mais renomados climatologistas, diretor do Centro de Serviços Climáticos da Alemanha em Hamburgo, ex-deputado do Parlamento Europeu em Bruxelas e pesquisador do *National Center for Atmospheric Research* dos Estados Unidos.

*A ciência do sistema terrestre trata dos processos naturais e antropogênicos que afetam a evolução e, em última análise, a habitabilidade do planeta. Nós devemos reconhecer que o sistema terrestre envolve as interações entre a atmosfera, o oceano, o gelo, a superfície terrestre, a bioquímica e a humanidade. A humanidade advertidamente e inadvertidamente perturbou todo o sistema, com consequências positivas e negativas. Então, o desenvolvimento acelerado de um sistema de monitoramento e previsão que integre os processos físicos, biogeoquímicos e sociais é essencial se buscarmos a produção de informação quantitativa que pode iniciar e guiar a mitigação e a adaptação às futuras mudanças no sistema da Terra.*²² (NOBRE et al., 2010, p. 1389).

Os cientistas naturais estão em busca de novas maneiras de lidar com as inter-relações em sistemas heterogêneos, em que as mudanças ambientais devem ser analisadas com as mudanças sociais e com a multiplicidade de formas sociais de interpretar, abordar e combater os problemas (ALVES, 2012b). O desafio, para os autores da ciência do sistema terrestre, é encontrar maneiras produtivas de produzir conhecimento considerando conjuntamente fatores químicos, físicos e também humanos e sociais, bastante incertos e mutáveis.

A ciência das mudanças climáticas, na chave da ciência do sistema terrestre, trata cada componente como sendo semi-independente em seus modelos computacionais. As componentes são produzidas nos interiores de cada redes disciplinares – ciências atmosféricas, oceanografia, física, química, biologia, economia e ciências humanas. O modelo, portanto, trata de componentes naturais e humanos como distintos, mas interativos.

²² No original: “Earth system science addresses natural and human-driven processes affecting the evolution and ultimately the habitability of the planet. We must recognize that the Earth system encompasses interactions among the atmosphere, ocean, ice, land, biochemistry, and humanity. Humanity has advertently and inadvertently perturbed the entire system, with both positive and negative consequences. Thus, the accelerated development of a monitoring and prediction system that integrates physical, biogeochemical, and societal processes is essential if we are to provide quantitative information that can initiate and guide the mitigation of, and adaptation to, future changes in the Earth system”.

Dada a complexidade deste conjunto e de suas interações, e das escalas dos fenômenos, que não permitem sua manipulação em laboratórios, os modelos computacionais tornam-se cada vez mais centrais, pois as narrativas de mudanças dos processos naturais por fatores humanos, como aquela apresentada anteriormente no início do capítulo, são baseadas nos produtos desses modelos. São as simulações do clima passado, presente e futuro e o tipo de conhecimento produzido pelos cientistas envolvidos no desenvolvimento e no uso destes modelos que definem que tipo de natureza e que tipo de sociedade foram produzidas desde o início da era industrial.

Como veremos ao longo dos próximos capítulos, as fronteiras entre os domínios do humano e natural não são cruzadas da mesma forma ou pelos mesmos caminhos pelos cientistas naturais e pelos cientistas sociais. Se, para o mundo da ciência dos sistemas terrestres, o desafio é incluir a complexidade e a não-linearidade da dimensão humana em modelos de cálculo; o desafio, para os estudos de ciência dos cientistas sociais e filósofos mencionados acima, é o de descrever objetos, instrumentos e entidades naturais como agentes na produção do conhecimento, com o mesmo rigor que fazem para descrever os humanos – e até mesmo utilizando-se do mesmo vocabulário.

O relato de ciência que buscamos neste projeto é o de uma narrativa mista, segundo Marilyn Strathern (1996), na medida em que procura explorar estas composições heterogêneas nas redes da ciência das mudanças climáticas em São Paulo. Strathern faz uso deste termo para designar o conjunto de relatos de antropólogos e cientistas sociais que, a partir dos anos 1980, combinavam fenômenos híbridos para descrever, entre outras coisas, invenções tecnológicas que prometiam por um fim às velhas divisões ontológicas, gerando ansiedade e especulação por parte do que ela chama de Euro-americanos.

(...) [Essas] ansiedades euro-americanas referem-se a onde por limites às invenções tecnológicas que prometem por um

fim às velhas divisões de categorias (...). Essas incluem as divisões entre humano e não-humano (...). Através de diversas áreas da vida, elas aparentemente ameaçam recair uma sobre a outra, e noções sobre humanidade e visões de desenvolvimento tecnológico ameaçam de forma inédita interferir umas às outras.

(...) Ao mesmo tempo, como os antropólogos explicitaram a natureza artificial ou etnocêntrica de muitas de suas divisões analíticas, eles se encontram vivendo em um mundo cultural cada vez mais tolerante a narrativas que apresentem uma natureza mista. Eu me refiro às combinações de fenômenos humanos e não-humanos que, nos anos 1980 e 1990, produziram as figurações de ciborgues e híbridos.

(...) Teóricos do ator-rede criaram campos narracionais com o intuito de mostrar como efeitos são produzidos a partir de alianças entre entidades humanas e não-humanas ²³
(STRATHERN, 1996, pp. 519–520, grifos do autor).

Como feito por Sayre, começaremos pelo produção histórica das narrativas e práticas científicas das mudanças climáticas, no próximo capítulo, e continuaremos com o desenvolvimento das redes sociais e técnicas, no capítulo seguinte.

²³ No original: “(...) [These] Euro-American anxieties are about where to *put limits* on technological inventions that promise to run away with all the old categorical divisions (...). These include the division between human and nonhuman (...) Across diverse areas of life, they seemingly threaten to fold in on one another, and notions about humanity and visions of technological development threaten newly to interfere with each other. (...) At the same time as anthropologists have made explicit the artificial or ethnocentric nature of many of their analytical divisions, they find themselves living in a cultural world increasingly tolerant of narratives that display a mixed nature. I refer to the combination of human and nonhuman phenomena that, in the 1980s and early 1990s, produced the imagery of cyborgs and hybrids.(...) Actor-network theorists set up narrational fields in order to show how effects are produced out of alliances between human and nonhuman entities.” (N.T.) O termo *imagery* refere-se a figuras de linguagem em textos ficcionais ou a conjuntos de simbologias visuais. Optou-se pelo uso de “figuração”, pelas associações que cria com os termos textuais, linguísticos, artísticos e semióticos, como “figuração de linguagem”, “arte figurativa”, “simbologia figurada”.

2 UMA BREVE HISTÓRIA DA CIÊNCIA DO CLIMA E DE SUAS MUDANÇAS

Quanto mais a ciência é absolutamente pura, mais se encontra intimamente ligada à construção da sociedade (LATOUR, 1994, p. 47).

2.1 A CIÊNCIA MODERNA E OS FENÔMENOS ATMOSFÉRICOS

Registros descritivos e prescritivos de fenômenos atmosféricos, como cheias dos rios, períodos chuvosos ou de seca e fenômenos correlatos como floração de

plantas, colheita e semeadura, existiam desde os tempos antigos ao redor do planeta. Para o Ocidente letrado, até o início da era moderna, diversas tradições originárias da Grécia antiga tratavam o clima, da palavra grega *klima* (κλίμα), com o significado de inclinação ou barranco, como determinado exclusivamente pela inclinação do trajeto do sol em relação à inclinação da superfície – ou, em termos modernos, pela latitude (FLEMING, 1998, p. 11). A terra conhecida foi dividida em setes zonas, os *klimata*, pela tradição ptolomaica, que perdurou entre os europeus de Aristóteles até a era das grandes explorações europeias pelos oceanos (EDWARDS, 2010, p. 29; HULME, 2009, p. 5).

O discurso ensaísta filosófico da ciência natural do período moderno, cujas fontes principais eram relatos de viajantes e colonos, memórias do passado e folclore, foi sendo substituído a partir de meados do século XVIII por uma defesa cada vez maior de coletas técnicas, instrumentalizadas e padronizadas, de dados naturais (FLEMING, 1998, pp. 33–34). O tipo de conhecimento sobre os fenômenos atmosféricos tornou-se cada vez mais “domesticado” pela disciplina e a tecnologia meteorológica, desenvolvida primeiro na Europa e mais tarde em outros pontos de colonização europeia nas Américas e ao redor do mundo (HULME, 2009; HULME et al., 2009).

As comunidades científicas modernas criaram suas próprias tradições em suas práticas e teorias sobre os fenômenos atmosféricos. Segundo Fleming, data do início do século XIX a criação das categorias do “tempo” e do “clima” pela ciência moderna. A divisão entre clima e tempo é comumente lembrada por climatologistas e meteorologistas pela frase, “clima é o que você espera, tempo é o que você recebe” (HULME et al., 2009, p. 199).

O tempo foi definido como a condição meteorológica em um dado momento, observáveis sem o uso da estatística, porém mediados pelo uso intenso de instrumentos tecnológicos. Os estudos do tempo, realizados pela ciência moderna, classificaram os fenômenos atmosféricos em uma infinidade de tipos: de nuvens, de precipitação, de vento, descritos e compreendidos por um conjunto fixo de parâmetros: a temperatura, a pressão, a umidade, a força e a direção dos ventos. Aos fenômenos meteorológicos que as culturas humanas percebem sensorialmente, a ciência moderna acrescentou, para classificá-los, descrevê-los e explicar suas causas

um conjunto de medições instrumentais padronizadas destes parâmetros variáveis. Trataremos desta história no próximo tópico.

Já o clima, por sua vez, não é algo que sentimos na pele ou observamos, como a chuva e o vento. De sua origem grega, o clima foi definido positivamente pelos naturalistas como o regime médio e estatístico das condições meteorológicas, após medições contínuas durante um certo período de tempo e em um certo local destes parâmetro variáveis. Para cada localidade, com base nestas séries estatísticas, foram estabelecidas as diferenças e classificações entre as estações do ano. Isto é a base para a definição de regime climático. Os recordes e as anomalias de cada região são calculados a partir destas médias diacrônicas.

Se chove ou não chove enquanto os leitores leem estas páginas, falamos da categoria tempo, mas para falarmos das chuvas constantes durante os verões paulistanos, falamos do clima. Desde o século XIX foram criados diversos sistemas classificatórios do clima, que dividem o planeta em diferentes zonas baseados nas temperaturas médias anuais e mensais e na sazonalidade destes fenômenos, que refletem em diferentes tipos de vegetação nativa encontrados em cada zona. Isto faz com que locais diferentes no globo tenham recebido as mesmas classificações, devido a sazonalidade similar dos fenômenos meteorológicos e tipos de vegetação bastante próximas.

Se chove intensamente durante os invernos na costa da Itália, falamos de “clima mediterrâneo”, se o mesmo ocorre durante os verões no litoral paulista, falamos de “clima subtropical úmido”. A cidade de São Paulo, por exemplo, é classificada como estando numa região com o mesmo tipo de clima que Buenos Aires, na Argentina, Orlando, nos Estados Unidos ou Brisbane, na Austrália - segundo a classificação de Köppen, uma das mais utilizadas até hoje. Lugares como o sul do Chile, o sul da Austrália e o sudoeste da África do Sul foram classificados como pertencentes ao clima mediterrâneo, apesar de milhares de quilômetros de distância do Mar Mediterrâneo.

A classificação de Köppen é um dos maiores exemplos da abordagem quantitativa, naturalista e classificatória das ciências modernas. Criada pelo geógrafo russo-alemão Vladimir Köppen no início do século XX e refinada por outros cientistas, marcou a transição entre os *klimata* ptolomaicos, estáticos e

determinados por um único fator, a posição na esfera terrestre, e os climas definidos pela ciência moderna, uma multiplicidade complexa de condições e fatores e que refletiriam vegetações e ecossistemas correspondentes²⁴ (HULME, 2009, p. 8).

A primeira classificação científica moderna desvinculou a definição clima de quaisquer grandes mudanças históricas. A mudança foi relegada a curta escala do tempo, às instabilidades do momento e aos ciclos de variações de cada regime climático, ou mesmo da influência local e num curto período de tempo no clima por atividades agrícolas – assuntos tratados no tópico 2.3.

É importante notar que o clima, portanto, é uma ideia construída por uma prática – e, como tal, também possui conotações físicas e culturais. O conhecimento científico moderno “domestica” o clima, nas palavras de Hulme et al. (2009), por uma dupla extensão: espacial e estatística.

A extensão espacial ocorreu por meio da classificação, coleção e categorização de diferentes regimes climáticos ao redor do mundo, geograficamente dispersos, obtidos desde as viagens exploratórias naturalistas, como as de Alexander von Humboldt e outros, e a criação de comunidades científicas em rede, que comparam os dados e as observações. São do século XIX a produção de mapas meteorológicos por naturalistas alemães como Humboldt, Brandes e Dove, que compartimentavam o mundo de acordo com médias anuais ou sazonais, separando as diferentes regiões e suas médias de temperaturas por linhas chamadas de isotermas, ou de pressão atmosférica por linhas chamadas de isóbaras (EDWARDS, 2010, pp. 30–31). Para serem produzidos, necessitavam do acúmulo de dados obtidos ao redor do mundo.

A segunda extensão, estatística, para Hulme et al., visa agregar o maior número possível de séries de medições, sincronicamente obtidas, na escala diacrônica, obtendo padronizações, comparações e ordenando o que antes era apenas um apanhado de informações. O clima é uma categoria intimamente vinculada às coletas na longa duração dos tempos momentâneos dos fenômenos meteorológicos. Ele esconde toda a heterogeneidade das experiências momentâneas e localmente vivenciadas, a fim de produzir simultaneamente simplificações na forma de

²⁴ Portanto, os ambientes de vegetação nativa foram concebidos por essa ciência classificatória como decorrentes dos regimes climáticos de cada região em uma relação determinística de causa e efeito.

descrições e análises de fenômenos que passam a ser compreendidos como globais (HULME, 2009, p. 9; TADDEI, 2013).

De acordo com Edwards (2010), o período modernista testemunhou o surgimento de uma globalização do clima e do tempo, por meio principalmente da criação de mapas, imagens e gráficos. Dos mapas das ciências teóricas, como os da atmosfera compreendida como um sistema unificado de circulação de ar aos mapas do globo com as análises dos dados das variáveis medidas em expedições a bordo de navios científicos cruzando os oceanos e da expansão da rede de estações meteorológicas,

“[através] dessas imagens, a meteorologia participava no projeto científico mais amplo de visualizar “o mundo” como um todo – um sistema único, dinâmico, coerente, compreendido como uma unidade mesmo que muito maior do que a escala da percepção individual. Na busca deste projeto, a meteorologia procurou ocupar o espaço global, distribuindo pessoas, instrumentos e conhecimento em cada canto da Terra e de seus mares. Muitos outros cientistas viajaram amplamente durante a Era dos Impérios, mas poucos possuíam razões tão fortes para tornar-se “onipresentes pelo mundo”, como Ruskin afirmou em 1839 – ou numa terminologia mais atual, “distribuídos” ou “enredados” (networked) (EDWARDS, 2010, p. 40).

Trataremos da expansão das redes meteorológicas e climatológicas a seguir.

2.2 REDES CIENTÍFICAS MODERNAS DE MEDIÇÃO E PREVISÃO DO TEMPO

As redes científicas do tempo e do clima se relacionaram intimamente ao longo de sua história. Apesar da maior parte das teorias científicas sobre o clima, seus sistemas de classificação e seus modelos serem baseados em médias estatísticas a partir de registros e observações meteorológicas, de tempo, existe uma divisão de trabalho entre os cientistas da climatologia e da meteorologia, entre os responsáveis pela realização de cálculos estatísticos e produção de mapas climáticos e os responsáveis pela obtenção e medição de dados padronizados no campo ou em estações meteorológicas, operando instrumentos calibrados (cf. EDWARDS, 2010;

SUNDBERG, 2009). Outra divisão importante se refere àquela entre cientistas de teoria física e os meteorologistas e climatologistas empiricistas, mas trataremos dessa divisão no próximo tópico.

A meteorologia, tecnociência empírica do tempo, foi lentamente desenvolvida ao longo dos últimos trezentos anos. As primeiras medições sistemáticas em determinadas horas do dia, por meio de instrumentos padronizados e calibrados, anotadas em relatórios também padronizados, da temperatura do ar, dos índices pluviométricos, da pressão do ar e da direção e da força dos ventos foram obtidas por diferentes instituições e sociedades científicas europeias, e mais tarde no continente americano desde meados do século XVII. O projeto destes meteorologistas pioneiros era descrever os climas de cada região, anotando medidas sistemáticas das variáveis básicas, criando bancos de dados e classificações (FLEMING, 1998).

No Brasil, as primeiras observações realizadas por meio de instrumentos tecnológicos e padronizados e classificadas segundo notações científicas modernas foram feitas na década de 1780 no Rio de Janeiro e em São Paulo, pelos astrônomos portugueses Bento Sanches Dorta e Francisco de Oliveira Barbosa. Sua vinda ao Brasil teve o objetivo de realizar medições e demarcações geográficas, baseadas em observações astronômicas, das fronteiras meridionais da colônia, assim como para facilitar o tráfego de navios na Baía de Santos²⁵ (SANTOS, 2005, pp. 17, 27).

Entre as primeiras medições meteorológicas entre o século XVII e XVIII, houve um árduo e lento esforço de constituição de redes sociotécnicas – isto é, entre técnicos da ciência e não-técnicos de governos, sociedades públicas e civis. Fleming (1998) e Edwards (2010) apontam inúmeras tentativas infrutíferas de criação de instituições científicas financiadas por governos nesta época. A maior parte dos grupos de especialistas realizava observações por conta própria e acabava sendo desmantelada após um curto período de existência, por falta de investimentos em recursos humanos e estruturais.

²⁵ Não pretendo afirmar que as primeiras observações e sistematizações sobre o tempo e o clima em território brasileiro foram realizadas por estes dois cientistas. Populações ditas tradicionais, assim como as missões religiosas e coloniais portuguesas possuíam relatos sobre os fenômenos atmosféricos, como a maior parte dos coletivos humanos na história, mas os registros indicam que a missão dos dois astrônomos portugueses no século XVIII foi o primeiro empreendimento meteorológico classificável como científico moderno no Brasil.

Inicialmente meras curiosidades de indivíduos e grupos no meio acadêmico e objetos de anseios classificatórios típicos da formação das ciências modernas, as redes de medições e observações de dados meteorológicos aos poucos mobilizou setores econômicos e políticos importantes a serem *interessados* pelos trabalhos destes cientistas naturais. Duas invenções são utilizadas por essas redes em construção como alavancas para sua expansão: a estatística, cujo uso generalizado é do início do século XIX, e telégrafo, cuja invenção é da década de 1830 e uso comercial internacional é da década de 1840, após a invenção do código Morse.

Seguimos aqui a noção de interesse e interessamento, conforme Latour (1983) e Callon (1986). Interesse não é dado, mas mobilizado pela rede de cientistas e seus aliados humanos e não-humanos dentro e fora dos laboratórios. Na etimologia latina da palavra, interesse significa estar entre, interposto. A ciência avança na produção de fatos e invenções tecnológicas quando ela se coloca entre os outros atores, definindo seus problemas, riscos e objetivos e tornando-se ponto de passagem obrigatório a eles.

Se os Estados e os comerciantes visam expandir seus lucros, conquistas militares por meio de redes de transportes marítimos, fenômenos meteorológicos extremos podem surgir no meio do caminho da segurança. Uma aliança com a ciência meteorológica mostrava-se ser capaz diminuir esse risco, com a mobilização de mais conhecimento e, portanto, mais financiamento para a produção científica.

Como nos mostra Edwards (2010), a criação e expansão da rede telegráfica permitia a comunicação entre estações e serviços meteorológicos de diferentes localidades e a realização de viagens exploratórias em navios científicos, com tripulação treinada a colher dados ao redor do mundo e a transmiti-los a estações centrais. O antes era apenas o objeto de investigação de acadêmicos, obcecados com a catalogação da natureza a partir de dados do passado, com o compartilhamento rápido de informações tornava-se um conhecimento que poderia ter uso momentâneo e interessar outros grupos. Por exemplo, em 1849, nos Estados Unidos, a fundação da rede meteorológica nacional pelo *Smithsonian Institution* obteve das companhias comerciais de telégrafos o uso gratuito de suas redes para envio e recebido de dados meteorológicos (EDWARDS, 2010, p. 41).

O compartilhamento telegráfico permitiu que a partir dos anos 1850 os meteorologistas desenvolvessem mapas sinópticos do tempo, baseados em registros momentâneos de temperatura, pressão do ar, direção e força dos ventos e chuva feitas em locais diferentes em uma área ampla geográfica, de dezenas de graus de longitude e latitude. Esses mapas são as primeiras tentativas de organizar cartograficamente as observações científicas dos fenômenos atmosféricos sincrônicos com o intuito de prever seu comportamento futuro e são antecedentes dos mapas que vemos todos os dias nos noticiários de televisão e jornais. “A ciência é uma das ferramentas mais convincente para persuadir outros do que eles são e do que eles deveriam querer” (LATOUR, 1983, p. 144). Os instrumentos de interessamento (*interessement devices*), no vocabulário utilizado por Callon e Latour, os medidores de temperatura, pressão e ventos, o telégrafo, e as técnicas cartográficas tornam os meteorologistas porta-vozes do comportamento, da força e da direção de fenômenos atmosféricos.

O encontro entre a rede meteorológica e a rede telegráfica tornou possível o avanço da capacidade de previsão dos fenômenos atmosféricos, o “bom” e o “mau tempo”, interessando os diversos setores que precisavam de condições meteorológicas favoráveis a suas práticas – plantações em larga escala, guerra, comércio oceânico – e tornou a meteorologia um ponto de passagem obrigatório, com a criação dos serviços meteorológicos modernos e centralizados pelos Estados nacionais.

Tempestades extremas mobilizaram cientistas em torno de controvérsias sobre suas causas e maneiras de prevêê-las, para anunciá-las com alguma antecipação, o que por sua vez promoviam a necessidade da obtenção e distribuição sistemática de mais dados, comunicados pela internacionalização das linhas telegráficas, para benefício da máquina de guerra, da agricultura, dos transportes e do comércio (FLEMING, 1998, p. 41).

Em linhas gerais estes serviços haviam sido criados com base no pressuposto de que a trajetória das tempestades podia ser inferida, com alguma antecipação, a partir de uma análise das isóbaras traçadas em um mapa com os dados fornecidos por uma rede de estações

meteorológicas interligadas pelo telégrafo (BARBOZA, 2006, p. 1).

Desastres de navios, como o de navios anglo-franceses no Mar Negro durante a Guerra da Crimeia em 1854 e o desastre do navio de passageiros *Rio-Apa* no litoral do Rio Grande do Sul em julho de 1887, numa viagem do Rio de Janeiro a Montevidéu, foram eventos essenciais para a criação e mobilização de redes sociotécnicas, criadas com o intuito de servirem a sociedade, principalmente à agricultura e à navegação, com informações e previsões sobre o tempo.

Na França, onde o Observatório de Paris realizava medições sistemáticas desde 1798, houve a criação do *Bureau Central Météorologique* em 1877 e Paris já era o centro de recepção e distribuição telegráfica de informação meteorológica na Europa continental desde 1855 – projeto do meteorologista Urbain Jean-Joseph le Verrier e encampado pelo Imperador Napoleão III, após o desastre da marinha na Guerra da Crimeia um ano antes – recebendo dados diários da Rússia, Áustria, Portugal, Espanha, Itália, Bélgica e Suíça desde 1857. No Reino Unido, cujas medições descentralizadas só foram sistematizadas de forma permanente com a fundação da *British Meteorological Society* em 1850, houve a criação do *Meteorological Office* (ou *Met Office*) em 1867. Nos Estados Unidos, diversas instituições faziam medições durante o século XIX, até a criação pelo Exército do *Army Signal Office*, o sistema nacional norte-americano de prevenções e avisos de tormentas em 1870 (EDWARDS, 2010; FLEMING, 1998).

No Brasil, durante o período monárquico, a meteorologia foi ampliada com a criação de instituições que realizavam medições meteorológicas no Rio de Janeiro, como a Repartição de Telégrafos, a Repartição Hidrográfica e principalmente o Imperial Observatório do Rio de Janeiro, criado em 1827²⁶. A criação do Serviço

²⁶ Na Província de São Paulo, apenas em 1886, com a criação da Comissão Geográfica e Geológica de São Paulo (CGG) é que as medições e observações meteorológicas se dariam de forma regular e contínua, porém em pequena escala. A Comissão havia sido criada pela elite cafeicultura paulista para auxiliar sua expansão ao oeste, realizar levantamentos cartográficos, ampliar os conhecimentos sobre as terras do interior da Província, e foi a primeira de uma série de institutos científicos, como o Instituto Agrônomo de Campinas, o Vacinogênico, o Bacteriológico e o Butantã. A sede do Serviço Meteorológico de São Paulo passou da Rua da Consolação ao mirante da Luz, à Avenida Paulista até a construção da Estação Meteorológica da Água Funda, onde foi fundado o atual Instituto de

Geral do Império, centrado no Observatório, é de 1886, e a Repartição Central Meteorológica de dois anos depois (BARBOZA, 2006; GRINBERG, 2011).²⁷.

A tragédia do navio de passageiros *Rio-Apa* em 1887 comoveu as elites brasileiras, foi manchete no principais jornais cariocas e pressionou o interesse da comunidade científica imperial para a criação de um serviço meteorológico brasileiro com o intuito de realizar previsões do tempo. A Princesa Isabel decretou, em 1888, a criação da Repartição Central Meteorológica (GRINBERG, 2011; BARBOZA, 2006, P. 1).

Percebe-se aqui o surgimento de uma noção de **previsão**, por parte da ciência moderna dos fenômenos atmosféricos. **Conhecer** cada vez mais tornava-se **prever**, além de apenas descrever comportamentos e processos. Para os cientistas do tempo, um conhecimento cada vez maior sobre dinâmicas atmosféricas resultaria em uma capacidade cada vez maior de prever o desenrolar dos fenômenos.

Previsões são modalidades científicas que demonstram os vínculos profundos entre ciência dentro e fora dos laboratórios, entre cientistas e não-cientistas. Os serviços de alertas e previsões são criados quando cientistas, seus instrumentos tecnológicos e seus conhecimentos classificatórios são mobilizados para dentro dos aparelhos burocráticos do Estado, das Forças Armadas e das influentes sociedades de produtores agrícolas, caso queiram melhores formas de enfrentar os riscos futuros a atividades humanas devido a instabilidades atmosféricas.

Previsões permitem que essas instituições enquadrem o presente, modificando a ação de outros atores por meio da apresentação de riscos de eventos extremos, indicando como eles devem se comportar, criando expectativas e ansiedades (TADDEI, 2013). Se conhecer tornou-se cada vez mais prever, prever tornou-se cada vez mais influenciar, controlar e enquadrar o comportamento dos outros.

O ato de prever também é um dos nódulos centrais das redes climatológicas, fundadas mais tarde que as redes meteorológicas. Previsão como forma de

Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da USP e atual sede de sua Estação Meteorológica do IAG (SANTOS, 2005).

²⁷ No período republicano os serviços foram centralizados em 1909 com a criação da Diretoria de Meteorologia e Astronomia, órgão do Observatório Nacional, herdeiro do Imperial Observatório e vinculado ao Ministério da Agricultura até hoje. Em 1992 seu nome passa a ser Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

conhecimento foi mobilizada para a climatologia, para além da meteorologia, no final do século XX – veremos como isso ocorreu no próximo capítulo. Após um relato rápido sobre a origem das redes de medições meteorológicas, partiremos para a história da ciência climática, como teoria física, e as diferentes ideias acerca dos impactos humanos no clima, tema central deste trabalho

2.3 O CLIMA COMO SISTEMA, A CLIMATOLOGIA COMO TEORIA FÍSICA

Segundo Edwards (2010, pp. 61-62), após o surgimento da telegrafia meteorológica e da previsão do tempo, a ciência atmosférica passou a ser dividida pelos cientistas em subgrupos: os meteorologistas das previsões (*forecaster*)²⁸, dedicados à produção de mapas sinóticos do tempo, compartilhamento rápido de informações e previsões de curto prazo; os empiricistas, meteorologistas dedicados a explicar o comportamento dos fenômenos atmosféricos a partir dos dados e de suas análises estatísticas, buscando não reduzir o sistema a poucas leis, devido a sua complexidade que eles acreditam ser intrínseca ao sistema; e os físicos e teóricos atmosféricos, dedicados a formular teorias gerais e leis físicas matematicamente expressas e calculadas do sistema climático global a partir de leis da termodinâmica, da dinâmica dos gases, fluidos e da circulação atmosférica e oceânica.

Enquanto os primeiros dois grupos preocupavam-se em explicar mudanças na escala curta do tempo, no passado ou no futuro recentes, o terceiro grupo dedicou-se a analisar o clima como um sistema unificado e global, funcionando a partir de um conjunto pequeno de fatores, explicáveis por meio de um conjunto de leis físicas e a estudar suas mudanças na escala longa do tempo, primeiro no passado, com o surgimento de hipóteses de eras glaciais e depois no futuro, com o surgimento da

²⁸ Interessante notar como em português a tradução corriqueira de *weather forecaster*, aquele que prevê o tempo, é meteorologista. Em inglês há duas palavras distintas: *meteorologist* e *forecaster*. Nem todo meteorologista realiza previsão de tempo, alguns se dedicam a estudos sobre o comportamento atmosférico sem se preocuparem com o futuro.

hipótese das mudanças climáticas antropogênica. É deste grupo e destas mudanças a longo prazo que este trabalho trata²⁹.

No final do século XVII o astrônomo inglês Edmond Halley escreveu um tratado para a *Royal Society* que explorava a dinâmica dos ventos alísios como determinadas pela diferença de aquecimento do ar entre os trópicos e os polos (EDWARDS, 2010, pp. 29–30)³⁰. Halley, cujo sobrenome batizou o famoso cometa, baseou sua teoria em relatos de navegadores e exploradores das rotas às Índias. Sua ideia pioneira, a de uma atmosfera como um sistema constantemente em busca de um equilíbrio térmico por meio da circulação constante de ares quentes e frios continua essencial para a climatologia contemporânea como veremos ao longo desta obra.

Segundo Edwards (2010), ao longo dos séculos seguintes, diversos físicos e meteorologistas avançaram a ideia inicial de Edmond Halley e buscaram identificar os fatores (ou forçantes) básicas que determinariam o comportamento da atmosfera, assim como a encontrar formas de explicá-los por meio de leis físicas, formuladas e calculadas matematicamente. A teoria de circulação de Halley foi incrementada pelos estudos da influência da rotação e da gravidade na circulação pelo britânico George Hadley no mesmo século. No século XIX, o meteorologista norte-americano William Ferrel isolou o que as ciências da atmosfera considera como os fatores que determinam o comportamento da circulação atmosférica: a rotação terrestre; a gravidade; a fricção da superfície; a umidade do ar; a incidência, absorção e reflexo da radiação; a termodinâmica das massas de ar – possibilitados pela novas teorias físicas da termodinâmica, oriundas do início do século, como veremos, assim como a consolidação das medições dos fenômenos atmosféricos.

Paul Edwards (2010) considera que um dos principais problemas das teorias que compreendiam o clima como um sistema único e complexo foi o que ele chama de “fricção”³¹: falta de medições suficientes ao redor do globo (nos oceanos, nas

²⁹ No terceiro e quarto capítulos, quando tratarmos de modelos climáticos, ficará claro porque dedicamos algum tempo a relatar as origens da ciência meteorológica, além da climática.

³⁰ Para Edwards (2010, p. 30), o mapa contido no tratado de Halley para a *Royal Society* é tradicionalmente considerado o primeiro mapa meteorológico publicado.

³¹ Fricção, para Edwards (2010, pp. 83-84), ocorre quando há resistências humanas, materiais, não-humanas, tecnológicas, de dados, métodos, cálculos, custos para a expansão

camadas mais altas da atmosfera, por meio de balões e mais tarde aviões), poucos avanços nos métodos matemáticos e físicos para formular um sistema de equações para descrever de forma unificado o conjunto de fatores que determina o clima, ou meios de calculá-las. A estatística, por exemplo, havia sido desenvolvida no século XIX e o cálculo estava sendo lentamente aprimorado; a maior parte dos teóricos do clima não possui formas de calcular as equações complexas, de forma conjunta e sem a necessidade de realizar aproximações, que resultavam em erros.

O clima não era consensualmente visto como um sistema unificado e, portanto, qualquer mudança também era vista como local e não global. Como veremos, a mudança do clima de origem humana não era de forma alguma uma novidade no século XIX, mas não era descrita com as mesmas características que as mudanças climáticas de que falamos no século XXI.

2.3.1 As mudanças do clima e as atividades humanas

James Fleming relata como a possibilidade da alteração do clima local pela agência humana já fazia parte de obras de alguns poucos pensadores Antiguidade clássica e no período Iluminista. Na Grécia antiga, Teofrasto, aluno de Aristóteles, percebeu mudanças microclimáticas em escala local após a drenagem de regiões alagadas e a derrubada de matas para atividades agrícolas. O aumento da incidência solar no solo era apontada como causa das mudanças após o desmatamento. Apesar disso, a maior parte dos escritos antigos e medievais sobre relações entre clima e humanos voltavam-se à influência climática nas atividades humanas e não o oposto (FLEMING, 2006, p. 228).

Filósofos iluministas no século XVIII, como Montesquieu, du Bos e Hume se dedicaram a pensar sobre as relações entre o clima, o homem, as artes da civilização e mudanças climáticas. Baseado em relatos da Antiguidade clássica, du Bos e Hume consideravam que o clima se alterava através dos tempos – o rio Tibre, por

e consolidação das redes científicas. Edwards, como leitor de Bruno Latour, explora dificuldades e resistências nas cadeias de traduções nas redes, quando teoria, prática, infraestrutura ou qualquer tipo de associação não é capaz de fluir livremente. A obra de Edwards contém uma análise importante da teoria de redes dos *science studies*.

exemplo, congelava durante invernos mais severos na Roma antiga, mas não mais em sua época. O ápice e a queda das culturas e civilizações, em sua acepção iluminista, eram diretamente ou fortemente determinados pela qualidade do clima - bons ares e temperaturas adequadas ou climas desfavoráveis (1998, pp. 12–18).

Segundo Fleming, o filósofo David Hume apontava como causa para esse espantoso aquecimento histórico a lenta ampliação das zonas cultivadas no velho continente, com a derrubada das florestas europeias e a drenagem dos pântanos. Do outro lado do Atlântico, de acordo com anotações de Thomas Jefferson³², as colônias norte-americanas na região nordeste do atual território dos Estados Unidos haviam sofrido uma mudança climática veloz após a derrubada das antigas florestas. Para Hume, o desmatamento necessário à criação de novas áreas de plantio retirava as sombras das antigas florestas e permitia que os raios do sol penetrassem mais livremente na terra e criavam condições necessárias para o florescimento da civilização³³.

Desta forma, o filósofo relacionava atividades humanas, mudança do clima e criação de climas favoráveis para sua concepção de projeto civilizatório. Fleming denota a importância moral na obra destes iluministas, ao pensarem nos impactos humanos ao clima local. Partindo de conceitos caros a esse período, como civilização, cultura e domínio da natureza, Hume, por exemplo, afirmava o caráter moralizante no ato humano de deixar de ser um mero objeto das necessidades da natureza e tornar-se livre agente de seu próprio destino, por meio do impacto direto na ocupação do território (FLEMING, 2006, p. 229).

³² Fleming aponta o surgimento de uma relação direta entre o projeto de dominação da natureza pelo homem e a formação da ciência moderna. Para entender melhor o alcance dos impactos humanos no clima, Thomas Jefferson, por exemplo, defendia fortemente no início do século XIX a criação de um sistema federal norte-americano para realizar medições periódicas do clima, antes que ele se alterasse por completo com a derrubada das matas. Também defendeu a inclusão de considerações sobre os efeitos do clima nas populações nos censos oficiais do governo dos Estados Unidos (FLEMING, 2006, pp. 230–232).

³³ Nem todas as visões sobre a relação entre desflorestamento e mudança climática local eram positivas. Segundo Edwards (EDWARDS, 2010, p. 67), lendo o geógrafo alemão oitocentista Eduard Brückner, houve tentativas infrutíferas de políticas estatais na Prússia, Áustria, Itália e Rússia neste período, assim como políticas coloniais a fim de neutralizar as mudanças que o desmatamento e a drenagem de terras úmidas havia causado nos climas e ecossistemas locais, como a desertificação, seca, escassez de mananciais ou aquecimento das temperaturas, por meio da silvicultura, a conservação de matas e o reflorestamento.

Como ocorreu com a meteorologia, as práticas positivas tiveram impacto direto nas descrições do clima após o início do século XIX. Cientistas norte-americanos e europeus, como Alexander von Humbolt e Cleveland Abbe, defendiam uma climatologia rigorosamente científica e racional, baseada em medições empíricas, análise dos dados e teorizações matemáticas, contra modos de discurso ensaísticos e literários pouco racionais e, para eles, não-científicos (FLEMING, 1998).

O século XIX, como vimos no primeiro tópico deste capítulo, testemunhou a formação de diversas abordagens sobre o clima. A climatologia estatística, calculava diacronicamente médias de variáveis na longa duração, possibilitados pelas séries de observações e medições meteorológicas locais e sincrônicas. Entretanto, além desse tipo de estudos, formaram-se também abordagens científicas sobre o clima que buscavam criar teorias físicas, leis gerais e universais, explicações das causas e origens do comportamento dos fenômenos e não apenas sua descrição, com uma visão do clima como sistema terrestre, unificado e estatisticamente estável na longa duração³⁴.

Após as grandes teorias de circulação planetária de Halley do século XVII e a definição do sol como o principal agente do clima, por meio do aquecimento diferenciado da superfície da Terra, mais tarde modificadas com a inclusão das leis gravitacionais e os efeitos da rotação, por Hadley, e as variações topográficas, que modificavam correntes, com as viagens exploratórias de Lyell e Humboldt, novas teorias físicas modernas, baseadas em estudos de dinâmica de calor, dinâmica dos fluidos e propriedade dos gases tomaram a si o papel de explicar as causas e o funcionamento do clima.

2.3.2 A climatologia oitocentista e as mudanças do clima

³⁴ Interessante notar paralelos entre estas visões de natureza e aquelas descritas por Ilya Prigogine e Isabelle Stengers (PRIGOGINE; STENGERS, 1984, pp. 36–41) sobre a física newtoniana, herdeira do projeto experimental de Galileu e que pressupunha a ideia de um universo de funcionamento mecânico e passível de ser descrito matematicamente por leis de validade universal.

O barão francês Jean Joseph Fourier³⁵, cientista e político do período napoleônico, foi um dos principais responsáveis pelo surgimento da nova ciência do calor, a chamada termodinâmica, em plena Revolução Industrial e estudos tecnocientíficos sobre melhores formas de geração e propagação de calor em motores. Prêmio da Academia Francesa de Ciências em 1811, sua teoria da propagação do calor foi, segundo Ilya Prigogine e Isabelle Stengers (1984), o evento simbólico inaugural de um novo campo de possíveis das ciências modernas, o que eles chamam de a “ciência da complexidade”, nova modalidade que tratava o tempo de forma contrária ao tempo estático e reversível da ciência clássica de Newton e Galileu.

Para Fourier, considerado o pai do termo “efeito-estufa”, a temperatura terrestre seria determinada pela incidência de calor luminoso vindo do sol, a temperatura do espaço interestelar, e o calor interno restante do período de formação do planeta – mas Fleming (1998) aponta que, para o francês, grossura da camada atmosférica em torno do globo, assim como a natureza da superfície terrestre, trabalhada ou não pela ação do homem, modificavam a temperatura média da Terra, mas não eram suas causas principais. O que Fourier havia batizado de “efeito-estufa da atmosfera” era uma mera analogia às condições físicas de retenção de calor luminoso através de redomas de vidro em caixas ou ambientes fechados. A origem da expressão “efeito-estufa” não correspondia à causa principal da temperatura terrestre, conforme a definição da climatologia contemporânea, baseada em estudos posteriores da física dos gases que compõe a atmosfera³⁶ (FLEMING, 1998, pp. 60–64).

O físico e matemático irlandês John Tyndall, agraciado com a medalha real da *Royal Society*, superintendente da *Royal Institution*, e cujo nome hoje batiza um dos maiores centros de pesquisa interdisciplinar sobre mudanças climáticas do Reino

³⁵ Para Prigogine e Stengers (1984), a ciência da complexidade, da termodinâmica, da química, da biologia evolutiva e da mecânica quântica, funda uma nova possibilidade para um tempo de mudanças, processos, evoluções, histórias e irreversibilidade – fenômenos essenciais para se compreender a ciência das mudanças climáticas.

³⁶ Fleming critica fortemente a literatura climatológica atual por traçar a história das mudanças climáticas e do efeito-estufa linearmente a partir dos escritos de Fourier, considerado usualmente como o “pai do efeito-estufa”, e evolutivamente até as pesquisas atuais. Para ele, essa ancestralidade do efeito-estufa, da forma como a ciência o considera atualmente, é baseada em um mau uso de citações, referências incorretas e leituras de fontes secundárias, até mesmo confundindo descobertas feitas em territórios e datas distantes entre si (1998, p. 58).

Unido, conduziu os primeiros experimentos sobre a propriedade radiativa dos gases nas décadas de 1850 e 1860, demonstrando as propriedades do chamado efeito-estufa, em que certos gases atmosféricos absorvem energia a taxas maiores do que a refletem. Fourier e outros naturalistas europeus já haviam formulado a hipótese de que a radiação solar penetrava a atmosfera terrestre com mais facilidade com que refletia de volta ao espaço, origem do calor atmosférico, mas foi Tyndall, de acordo com Fleming, quem primeiro experimentou tal fenômeno em um laboratório (p. 73). Segundo Tyndall, “(...) a atmosfera admite a entrada do calor solar, mas controla sua saída; e o resultado é uma tendência ao acúmulo de calor na superfície do planeta”³⁷ (TYNDALL, 1859, apud: FLEMING, 1998, P. 66).

Por meio do primeiro espectrofotômetro, criado por ele e baseado em instrumentos anteriores criados por cientistas alemães e italianos, ele pôde demonstrar que gases e vapores incolores e invisíveis absorvem e emitiam calor irradiante diferentemente, a depender do gás utilizado. Ele demonstrou seus experimentos aos pares da *Royal Society* e da *Royal Institution*, ao estilo da ciência experimental de Boyle, conforme narrado por Shapin e Schaffer (1985), e determinou as propriedades radiativas dos diferentes gases que testou. Deste modo, pôde afirmar que os gases elementares, como oxigênio, nitrogênio e hidrogênio eram quase transparentes ao calor irradiante, enquanto que gases moleculares, como vapor d’água, dióxido de carbono, ozônio eram os melhores absorventes e que mais bem irradiavam o calor (FLEMING, 1998, pp. 66–71).³⁸ De todos esses gases, o vapor d’água era o que mais absorvia radiação.

À Latour, podemos compreender a atividade de Tyndall como uma expansão de sua rede a partir de laboratórios em direção à atmosfera terrestre e à superfície do planeta. Tyndall conectou experimentos internos com o ar externo aos laboratórios - assim como Pasteur traduziu problemas epidêmicos franceses em experimentos laboratoriais locais, para depois voltar ao campo com seus testes (LATOUR, 1983). Após experimentar com a luz artificial dos recintos e em recipientes com gases

³⁷ No original: “(...) the atmosphere admits of the entrance of the solar heat, but checks its exit; and the result is a tendency to accumulate heat at the surface of the planet”.

³⁸ Tyndall fez experimentos também com a refração da luz por moléculas e partículas de poeira, também conhecidos como aerossóis, abundantes sobre os céus londrinos da era vitoriana, fenômeno que veio a ser conhecido como efeito Tyndall, e centrais hoje para pesquisas de física e química atmosférica.

puros, Tyndall passou a medir a absorção da luz solar pela atmosfera, por meio de uma abertura no telhado do *Royal Institution*, mediando a coleta com fios e cabos de transmissão elétrica aos instrumentos no laboratório.

De acordo com Fleming, Tyndall afirmava que mudanças na composição dos elementos constitutivos da atmosfera acarretariam em mudanças na temperatura da Terra, devido às propriedades radiativas que ele havia descrito. Em um conhecido exemplo de Tyndall, se fosse possível remover o efeito de cobertura do vapor d'água do ar que recobre a Inglaterra, o calor que aquece os campos e jardins vindo do Sol seria dissipado totalmente no espaço, resultando no congelamento total da paisagem inglesa (FLEMING, 1998, pp. 66-71).

A atmosfera, após os cálculos de Fourier e os experimentos de Tyndall, passou a ser concebida como uma redoma natural de gases misturados em volta da Terra. Foi transformada em agente central de uma ampla rede que associava físicos em seus laboratórios urbanos, o calor irradiado do Sol e as propriedades dos gases medidos em experimentos, assim como as redes que estudavam o passado geológico da Terra e formulavam hipóteses sobre mudanças climáticas antigas.

A associação entre a ciência do clima e outras descobertas da ciência natural, como os vestígios geológicos, paleontológicos e arqueológicos da existência de eras glaciais antigas, dezenas de milhares de anos atrás e a existência de vestígios de animais e plantas marinhas antigos em escavações em terra firme, fez a ideia das mudanças climáticas sair do escopo temporal curto da agência humana e do impacto no território local para a longa duração das oscilações naturais das eras milenares e extensões globais (FLEMING, 1998, pp. 52–53)

O passado glacial, hipótese afirmada por geólogos europeus oitocentistas, era um mistério que intrigava cientistas naturais. Após o trabalho de Thomas Lyell, em meados do século XIX, cientistas começavam a compreender a história geológica da Terra como muito antiga, baseados em evidências de fósseis, e a história climática como oscilante. A partir de estudos de risco da potência destruidora de geleiras e lagos glaciais dos Alpes nas atividades humanas, geólogos e engenheiros suíços desenvolveram a hipótese de que as geleiras haviam sido mais extensas no passado, após escavações e análises laboratoriais de evidências trazidas à superfície e

observações ao ar livre. A ideia de um clima imutável tornava-se incerta e disputada.

Jean Louis Agassiz, publicou, após uma apresentação para a Sociedade Suíça de Ciências Naturais em 1837, um livro sobre sua teoria da Era Glacial (HULME, 2009, p. 41). Algumas das classificações de eras geológicas da Terra, como a de Agassiz, apontavam a mudanças substanciais do clima no passado, com presença de alterações em rochas, e vestígios de plantas, animais e hominídeos típicos de climas frios. As causas da Era Glacial e as narrativas de risco em torno das possibilidades de seu retorno foram extensamente discutidas pela comunidade científica euro-americana em encontros multidisciplinares durante o século XIX (FLEMING, 1998, pp. 73–79).

Tentando solucionar a questão da Era Glacial, Svante Arrhenius, prêmio Nobel em 1903, baseou-se em diversos experimentos, observações e coletas de dados sobre as relações entre gases, irradiação, temperatura realizados por colegas físicos, químicos e geólogos, para traduzi-los em sua teoria de física cósmica – na época, o nome que se dava ao estudos físicos da terra, mar e ar.

Arrhenius, químico da Academia Real de Ciência da Suécia, atraiu o interesse dos membros da Sociedade de Física de Estocolmo. Em 1895 apresentou um artigo à Sociedade, publicado no ano seguinte, em que sugeria que a redução ou aumento da concentração do dióxido de carbono na atmosfera causaria uma reação de *feedback*³⁹ na temperatura global, causando avanços ou retrações das geleiras. Ele havia realizado cálculos bastante primitivos e aproximados sobre o valor da temperatura média da Terra e também um valor hipotético da temperatura terrestre caso a atmosfera não existisse, baseando-se num modelo matemático simples. Arrhenius recebeu o papel de um dos ancestrais das atuais teorias do aquecimento global na história das ciências do clima.

Segundo Fleming, um dos maiores aliados do químico sueco foi o geólogo Högbohm, que lhe forneceu dados sobre as origens geoquímicas do carbono e acreditava que as emissões industriais de carbono, por meio da queima do carvão,

³⁹ *Feedback* é o termo em inglês utilizado para processos retroalimentativos, em que um processo aparece em resposta à processos anteriores, reforçando-o. É amplamente utilizado em medicina e nas ciências naturais.

eram insignificantes perto das variações geofísicas naturais das concentrações de gás carbônico, na forma de vulcanismo, formações geológicas e processos biológicos. Para Arrhenius, o aumento de duas vezes da concentração de gás carbônico atmosférico resultaria num aumento de 5 a 6°C, mas durante mais de três mil anos (EDWARDS, 2010, pp. 73–74).

O geólogo americano T.C. Chamberlin, contemporâneo, leitor e crítico das obras de Arrhenius, professor da Universidade de Chicago e presidente da *Geological Society of America* e da *American Association for the Advancement of Science* (AAAS), dedicou anos de sua carreira a pesquisar as eras glaciais. Assim como os outros mencionados acima, Chamberlin também identificou o dióxido de carbono e o vapor d'água como reguladores da temperatura terrestre, o que o levou a considerar a atmosfera como um *agente* geológico fundamental e o CO₂ como um *agente* de mudança climática. Suas pesquisas basearam-se em cálculos sobre os ciclos de carbono e estudos de composições químicas de amostras geológicas e paleontológicas entre o final do século XIX e o início do XX (FLEMING, 1998, pp. 83–93)⁴⁰.

2.3.3 Aquecimento Global e a climatologia no século XX

Nos primeiros anos do século XX, Arrhenius, revisando o trabalho de Chamberlin e de outros cientistas, se conscientizou do rápido aumento das emissões antropogênicas de carbono por meio da queima de carvão e petróleo. Chamberlin e Arrhenius se preocupavam com o possível retorno da era glacial, devido às amostras de dados geológicos indicarem que o clima terrestre havia sempre oscilado entre glaciações e períodos interglaciares. O risco nesta época era o da glaciação global retornar, causando prejuízos nas culturas agrícolas, fome e crise demográfica. O aquecimento global, nesta narrativa de risco, era visto com olhares positivos.

⁴⁰ Fleming explora a controvérsia ao comparar as propostas destes pesquisadores e as teorias contrárias, que explicavam as glaciações com teorias astronômicas, envolvendo a luminosidade do sol e o eixo da órbita planetária, e teorias terrestres, envolvendo o surgimento de cordilheiras e o vulcanismo como fatores de alteração das correntes circulatórias marinhas e atmosféricas.

Arrhenius e outro colega sueco, Nils Eckholm, consideravam matematicamente na forma de um modelo climático radiativo que o aumento contínuo do consumo de combustíveis fósseis poderia benéficamente impedir a volta da era do gelo e inaugurar uma nova era de temperaturas tropicais, com enormes benefícios à produção agrícola das zonas temperadas e árticas (FLEMING, 1998, pp. 81–82, 111).

É importante ressaltar que nenhum destes cientistas impactaram a comunidade científica e extra-científica a ponto de tornarem aceitas suas teorias sobre o aquecimento da terra devido a emissões antropogênicas de gases – o que só se consolidou no pós-guerra, quando alianças profundas foram feitas entre essa ciência climatológica, com seus gases agentes de mudanças climáticas, o Estado e redes tecnológicas mais extensas, como as Forças Armadas (DEMERITT, 2001).

A agência do gás carbônico no clima terrestre suscitou uma controvérsia principalmente nas comunidades anglo-americana e sueca. A maior parte dos climatologistas e físicos atmosféricos do início do século XX, segundo Fleming, discordavam da hipótese de o CO₂ ser um agente de mudança climática, com base em pesquisas laboratoriais sobre absorção de energia radiativa, que apontavam ao vapor d'água como principal gás radiativo da atmosfera, e na falta de conhecimento suficiente nas inter-relações complexas entre entidades atmosféricas, como as nuvens, as correntes oceânicas, a radiação solar e o fenômeno das glaciações (FLEMING, 1998, pp. 112–113). Edwards (2010) relata que a hipótese do aquecimento devido ao aumento de CO₂ havia caído em desuso e estava desacreditada nas primeiras décadas do século XX.

Quase quarenta anos mais tarde, em 1938, em meio a uma década de temperaturas bastante elevadas - as maiores desde que as medições tiveram início em meados do século XVIII, cabe ressaltar - o engenheiro inglês G. S. Callendar apresentou um artigo, "*The artificial production of carbon dioxide and its influence on temperature*" [A produção artificial de dióxido de carbono e sua influência na temperatura], para a *Royal Meteorological Society*, então com mais de setenta anos de existência. Neste artigo, diferentemente do trabalho de Arrhenius, mas concordando com seu pressuposto básico, o autor afirmava que o consumo de combustíveis fósseis havia aumentado modestamente, mas de forma mensurável a temperatura da Terra nos últimos cinquenta anos (FLEMING, 1998, p. 108).

Segundo Edwards (2010, p. 77), uma das principais diferenças entre ambos os autores foi que nos anos que separam o trabalho de Arrhenius e o de Callendar, a quantidade de emissões de gases de efeito-estufa havia aumentado consideravelmente, com a invenção do automóvel, a explosão demográfica e propagação da Revolução Industrial. Se, para o químico sueco, o aquecimento das temperaturas atmosféricas devido à ação do homem seria um processo lento e futuro, para Callendar, ela já era detectável.

O autor britânico publicou diversos artigos sobre medições do aumento das temperaturas publicadas em relatórios ao redor do mundo, comparando-os ao índice de concentração de gás carbônico na atmosfera, feitos no Observatório Kew, em Londres, e que haviam crescido, na década de 1930, a 310 partes por milhão (ppm)⁴¹. Ele criou cálculos e modelos matemáticos do fator que hoje chamamos de forçante de efeito-estufa (*greenhouse forcing*), o aumento da concentração do dióxido de carbono na atmosfera como causa do aumento da irradiação da atmosfera à Terra e uma diminuição da irradiação da superfície terrestre para o espaço, aumentando a temperatura medida na superfície, e reviu o trabalho dos autores que haviam desacreditado na hipótese. Para ele, o gás carbônico era agente de mudança climática, mais do que o vapor d'água – que era o principal gás de retenção de radiação, mas que variava pouco na longa duração (EDWARDS, 2010, pp. 76-77).

Assim como Arrhenius, o engenheiro inglês via de forma positiva a mudança antropogênica do clima, tanto por empurrar mais para o norte a margem setentrional de cultivo agrícola, aumentando o crescimento vegetal, aumentando o CO₂ disponível para a fotossíntese, adiando o retorno das “geleiras mortíferas” das eras glaciais. Entretanto, assim como o químico sueco, suas teorias não ganharam ampla aceitação imediata. De acordo com Fleming (1998), os artigos de Callendar continham uma versão inicial da proposta de que a humanidade estaria acelerando os processos naturais e conduzindo um grandioso experimento geológico, tornando-

⁴¹ A “ppm” ou partes por milhão é uma medida muito utilizada para se falar da concentração de gases na atmosfera e que está no centro das narrativas contemporâneas das mudanças do clima. De cada um milhão de moléculas encontradas no ar, trezentos e vinte são moléculas de gás carbônico na época de Callendar, o que faz dele, um gás bastante rarefeito. No início da Revolução Industrial o índice era de 274ppm e hoje esse índice está próximo de 400ppm, o que preocupa consideravelmente a comunidade científica.

se um *agente* de mudança global – tese amplamente difundida durante a Guerra Fria.

As temperaturas altas dos anos trinta e as hipóteses de cientistas euro-americanos levaram o aquecimento global a entrar na agenda pública de discussões durante as décadas de 1940 e 1950, inclusive na mídia voltada ao público não especializado, como demonstrado pela historiografia de Fleming (1998). Entretanto, a ciência responsável por tornar as mudanças climáticas antropogênicas um fato natural debatido em todo o mundo para além de poucos artigos científicos foi formada por meio de associações entre política e sociedade em uma escala infinitamente maior do que a de cada um destes cientistas, como veremos no próximo capítulo.

3 FORMAÇÃO DE REDES SOCIOTÉCNICAS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS

De um discurso climático embebido na tradição da analogia literária, através de um esforço longo e contínuo de estabelecer uma ciência climática positiva, nós chegamos, no final no século XX, a um discurso climático que está novamente saturado com metáforas, valores e preocupações. Como Jerome Namias afirmou em 1989, “o efeito-estufa é agora firmemente parte de nossas angústias coletivas, em conjunto com o inverno nuclear, as colisões por asteroides e

*outros pesadelos globais amplamente divulgados*⁴² (FLEMING, 1998, p. 136).

3.1 FENÔMENOS GLOBAIS

Redes sociotécnicas são redes formadas por especialistas e não-especialistas na formação de ciências, técnicas tecnológicas. Como vimos no capítulo anterior, problemas científicos e tecnológicos também são problemas sociais (LATOUR, 2000b).

As ciências dos fenômenos atmosféricos e os serviços meteorológicos nacionais representam apenas um dos lados da ciência, como vimos no capítulo anterior. Os fenômenos atmosféricos impuseram problemas à construção das redes sociotécnicas nacionais durante os séculos XIX e XX, em um período de conflitos constantes e nacionalismo crescente. Em grande parte das vezes, estes fenômenos ocorrem em escala regional, que ultrapassam as fronteiras nacionais, o que exige cooperação internacional e a troca de informações entre comunidades científicas para serem sistematicamente analisados em favor da eficácia das redes e seus objetivos de prever riscos. Como vimos no capítulo anterior, a ideia de uma ciência capaz de compreender e analisar o clima como um fenômeno único global, da forma estabelecida em nossos dias, era controversa.

Muitos meteorologistas dedicados a estudos empíricos do clima, a partir do acúmulo de séries de medições do passado, ou dedicados a previsões de curto prazo, por meio de cálculos simples de evidências obtidas em medições momentâneas em diversas localidades e compartilhadas regionalmente em rede, experimentavam o clima em suas práticas e teorias científicas como um fenômeno regional e local. Porém, alguns grupos de cientistas atmosféricos, que Paul Edwards (2010) chama de “teóricos”, como vimos no capítulo anterior, buscavam por meio de modelos

⁴² No original: “*From a climate discourse steeped in the tradition of literary analogy, through a long and continuing effort to establish positive climate science, we have arrived, late in the twentieth century, at a climate discourse that is again saturated with metaphor, values, and apprehensions. As Jerome Namias pointed out in 1989, “the greenhouse effect is now firmly part of our collective angst, along with nuclear winter, asteroid collisions, and other widely bruited global nightmares”.*”

matemáticos, leis físicas de aplicações universais e cálculos complexos compreender a atmosfera como um sistema unificado e o clima como um fenômeno verdadeiramente global.

Após a fundação da dinâmica newtoniana no século XVIII, da termodinâmica no século XIX, da física dos gases e suas propriedades radiativas e os avanços no cálculo matemático, houve a formulação de teorias e cálculos sobre as dinâmicas gerais da atmosféricas. O meteorologista norueguês Vilhelm Bjerknes descreveu no início do século XX a dinâmica de circulação de grandes massas de ar por meio de equações de movimento e estado do ar (Edwards, 2010, p. 85). Essas equações físicas, atualmente chamadas de *equações primitivas*, descrevem matematicamente o comportamento de uma massa de ar, por meio de cálculos da conservação ou transformação da massa, momento (*momentum*), umidade e energia (temperatura) na interação no tempo com massas de ar adjacentes.

Cada uma das equações básicas foi desenvolvida ao longo do séculos XVIII e XIX pela física desde Newton e suas leis do movimento e Fourier e suas leis da termodinâmica, as leis da hidrodinâmica e da conservação de massas, pela descrição dos sete fatores ou variáveis determinantes da circulação atmosférica por William Ferrel (temperatura, umidade, pressão, densidade, movimento em três dimensões). Entretanto, segundo Edwards (2010, p. 86), apenas após o trabalho de Bjerknes e seus colegas escandinavos, trabalhando na Europa nos anos 1930 e nos Estados Unidos, após a eclosão da segunda Guerra Mundial, que as equações e as variáveis foram unificadas com o objetivo de calcular o comportamento da atmosfera e do clima como um sistema único. Como Edwards escreveu: “[pela] primeira vez, uma previsão do tempo poderia ser calculada objetivamente (pelo menos em princípio), a partir de leis físicas básicas, ao invés de inferidos de mapas com base na experiência subjetiva” (2010, p. 86).

Essa forma de descrever e calcular a atmosfera foi essencial para o desenvolvimento da climatologia e dos modelos computacionais ao longo do século XX, como veremos nos próximos tópicos e no próximo capítulo. Ela foi baseada na expansão global da rede de medição e obtenção das variáveis básicas necessárias para os cálculos tanto da teoria física como de previsão meteorológica. Sem os dados variáveis obtidos de todas as partes do mundo, as equações calculadas por

cientistas como Bjerknes eram demasiadamente abstratas e não poderiam ser testadas e verificadas frente aos fenômenos observados.

3.2 REDES GLOBAIS

Em 1873, a Organização Meteorológica Internacional (OMI) foi fundada, reunindo os serviços nacionais de medição e previsão do tempo da Europa e dos Estados Unidos e que funcionou até o período do pós-guerra. Paul Edwards (2006) afirma que a OMI tinha um caráter voluntarista e não-vinculante e que, apesar de ter havido propostas por alguns Estados membros de fundar uma verdadeira *rede mundial*, com financiamento amplo de estações de observação ao redor do mundo e da transmissão globalizada de informação, o projeto globalizante se provava difícil e era minado por falta de vontade política das delegações nacionais, especialmente em relação aos investimentos em estrutura e em padronização da informação.

A questão das padronizações das medidas e das calibrações dos instrumentos é intrínseca à criação das disciplinas científicas e especialmente tratando-se de uma disciplina cujos cientistas trocavam tantas informações para além das fronteiras nacionais, como a meteorologia. Para criar mapas sinópticos úteis para o uso disseminado da previsão meteorológica é preciso que os registros dos dados de temperatura, pressão, velocidade e direção dos ventos e das condições do tempo estejam padronizados entre as estações – o que, para Edwards, envolve esforços de construção de rede, atritos e dificuldades (EDWARDS, 2006, p. 231, 2010; FLEMING, 1998, pp. 35–37).

Edwards (2006, 2010) narra a história das redes de produção e transmissão de informação meteorológica, da publicação de seus registros em boletins científicos e da criação de padronizações internacionais tanto de medições, como das notações – como a adoção do Tempo Médio de Greenwich para padronizar o horários das medições⁴³ e a adoção dos sistemas de medidas internacionais, após a assinatura da

⁴³ Em inglês *Greenwich Mean Time* (GMT), que deu origem ao fusos horários seguindo o Tempo Universal Coordenado (na sigla em inglês UCT), é o padrão internacional para estabelecimento da hora. Foi criado, após muitas controvérsias geopolíticas, em 1884 numa

Convenção do Metro em 1875, que criou um sistema coordenado de metrologia, incluindo as medidas termométricas, barométricas e outras.

Para Edwards, isso transformou a rede científica meteorológica, em conjunto com as redes afins de sismologia e oceanografia, em um dos mais antigos sistemas de informação verdadeiramente globalizados no espaço e no tempo (EDWARDS, 2006, pp. 229–230). As redes meteorológicas dos séculos XIX e XX anteciparam, segundo o historiador americano, muitos dos processos de globalização da comunicação, como as redes de comunicação civil contemporâneas, como a Internet, ou as estruturas intergovernamentais permanentes, como a ONU.

O surgimento da aviação no final da primeira guerra mundial, assim como o desenvolvimento intenso de formas de comunicação que superavam as limitações dos telégrafos, que se restringem às áreas cobertas pelas redes de cabos e linhas telegráficas, permitiram a expansão verdadeiramente globalizada das redes meteorológicas. Os dados passaram a ser transmitidos por ondas de rádio de onda curta ou alta frequência, que se propagam por áreas imensas, além do alcance dos cabos, e podiam ser enviados de estações em ilhas, regiões remotas ou navios (EDWARDS, 2006, p. 234).

A multiplicidade das formas de transmissão de dados aliou-se à multiplicidade das formas de registrá-los, por meio de instrumentos e observações, e das linguagens para interpretá-los em formas de mapas e gráficos. Houve diversas tentativas de tornar a OMI um órgão verdadeiramente intergovernamental e com poder de decisão – o que incluía a padronização da informação. Mesmo com a interrupção das cooperações científicas durante os anos das guerras mundiais, elas foram retomadas nos primeiros anos após os armistícios.

Edwards (2010, pp. 88-89), baseando-se na biografia de Vilhelm Bjerknes, que trabalhava na Alemanha durante a primeira guerra mundial, escrita pelo historiador Robert Marc Friedman, afirma que a guerra transformou a meteorologia. Os setores

conferência internacional que estabeleceu como base para o cálculo dos fusos o horário do Meridiano de Greenwich, que atravessava o Observatório Real em Londres, no distrito de Greenwich e que havia sido adotado desde 1847 como horário legal do Reino Unido da Grã-Bretanha e Irlanda, principalmente devido à expansão da rede ferroviária nas ilhas britânicas. A expansão internacional da rede ferroviária em conjunto com a rede telegráfica pressionou os governos ocidentais a adotarem horários padronizados globalmente (EDWARDS, 2010, pp. 43-47).

militares, como vimos no capítulo anterior, foram interessados pelas pesquisas meteorológicas e financiaram boa parte da expansão da rede em ambas as guerras: construção de novas estações de medição, criação de novas formas de obtenção de dados por meio da aviação e de balões militares, formação de um sistema de compartilhamento de informações, via telégrafo ou rádio, utilizados pelas Forças Armadas para o uso de suas tropas na terra, no mar e no ar⁴⁴.

Edwards também afirma que a teoria meteorológica de Bjerknes descrevia o tempo como a colisão e o conflito de “massas” de ar descontínuas e fenômenos atmosféricos ocorriam quando duas massas de diferentes características colidiam, ao longo de uma “frente” (“*front*”) – termo que denota as origens militares das pesquisas – e muitos dos termos e simbologia cartográficas são usados até hoje (2010, pp. 90-91).

Com o término da segunda guerra mundial, o compartilhamento de informações entre nações voltou à normalidade e a Convenção Meteorológica Mundial foi assinada em 1947, entrando em vigor em 1950. Em 1951 a OMI foi substituída pela Organização Meteorológica Mundial (OMM), que se tornou o braço científico meteorológico do chamado sistema ONU⁴⁵. A OMM possuía todas as vantagens de ser uma organização intergovernamental: orçamento garantido pelas contribuições anuais dos estados membro das Nações Unidas; o poder de tomar decisões políticas vinculantes, isto é, com efeito prático nas comunidades científicas nacionais; realizar ações favoráveis a uma maior cooperação na troca de informações e maiores investimentos em infraestrutura mundial. Entretanto, de acordo com Edwards, ela também possuía todas as desvantagens da diplomacia do pós-guerra e a divisão geopolítica do mundo da Guerra Fria (2006, p. 236-238).

⁴⁴ Há, inclusive, o relato de que o Dia D, dia da invasão das tropas aliadas em 1944 na Normandia, no território francês ocupado pelos alemães desde 1940, foi adiado porque o General norte-americano Eisenhower confiou na previsão de seus meteorologistas, que afirmavam que o mau tempo do início daquele mês de junho sobre o Canal da Mancha iria ter um breve interlúdio de um dia. O Dia D teve tempo bom e os alemães foram pegos de surpresa, pois seus meteorologistas falharam em prever este evento meteorológico (EDWARDS, 2010, pp. 115–116).

⁴⁵ Termo em relações internacionais que denota a Organização das Nações Unidas, sua Assembleia Geral e Secretariado, e o conjunto das agências especializadas intergovernamentais – incluindo as agências criadas antes da própria ONU e da segunda guerra mundial, como a UNESCO, por exemplo.

A OMM começou a organizar um congresso mundial a cada quatro anos, onde as delegações nacionais debatem e chegam às conclusões sobre quais padronizações técnicas e científicas adotar, algo inexistente no período anterior e a que Edwards dá o nome de “globalismo infraestrutural”. As comissões da OMM decidiam como os instrumentos deveriam ser construídos, calibrados e como os dados deveriam ser interpretados e escritos.

Apesar da internacionalização do período de paz pós-guerra, o período foi fortemente marcado também pela Guerra Fria e a disputa entre os blocos capitalista e socialista. A corrida armamentista e espacial esteve intimamente ligada a um aumento do *interesse* dos setores militares por questões meteorológicas, para uso da Aeronáutica e da Astronáutica, além da Aviação Civil, assim como um aumento da mobilização de *interesses* dos setores científicos por parte dos militares. Matthias Dörries (2011), Edwards (2006, 2010) e Fleming (1998) escrevem que os estudos meteorológicos e climatológicos e as preocupações militares caminhavam conjuntamente. Investimentos em aviação militar, por exemplo, tornaram o *Air Force Weather Service* da Aeronáutica norte-americana o maior serviço meteorológico mundial já nos anos 1950 (EDWARDS, 2006, p. 243).

O lançamento de foguetes e satélites espaciais, estimulado pela indústria militar e pela corrida armamentista, beneficiou amplamente a comunidade científica climatológica e meteorológica. Os militares necessitavam de dados da atmosfera, alta atmosfera e de circulação de massas de ar para realizar testes e operar seus aviões, mísseis e foguetes. Os cientistas atmosféricos faziam uso destes dados e das novas tecnologias, como radares, aviões e foguetes para refinar o conhecimento sobre o clima.

O radar, importante instrumento para análise meteorológica momentânea até os dias de hoje, é uma invenção da segunda guerra mundial. Os primeiros experimentos com instrumentos de medição da transferência de calor entre o planeta e o espaço foram feitos por foguetes no final da década de 1950. O satélite Explorer VII, por exemplo, carregava os primeiros instrumentos espaciais norte-americanos de análises meteorológicas, ao lado de câmeras de espionagem para filmar o território inimigo (EDWARDS, 2006, p. 245). Desde meados dos anos 1970 as medições globais simultaneamente no tempo e no espaço de transferência de

radiação entre a radiação solar e a radiação retransmitida pela Terra foram feitas por satélites espaciais.

As preocupações públicas sobre questões climáticas adquiriram uma dimensão global com a corrida nuclear durante a Guerra Fria. Havia o risco de uma deflagração de um conflito nuclear entre as superpotências detentoras de bombas atômicas e que este conflito causasse alterações relevantes no clima. Primeiros estudos foram feitos sobre as consequências meteorológicas dos ataques nucleares a Hiroshima e Nagasaki no Japão durante a Segunda guerra mundial (EDWARDS, 2006).

Com a corrida nuclear, houve a realização de inúmeros testes de bombas atômicas inicialmente pelos Estados Unidos, União Soviética, França, Reino Unido e China – mais de mil testes foram realizados apenas pelos Estados Unidos dentro de seu território e em possessões coloniais no Oceano Pacífico (MASCO, 2010). Nos Estados Unidos, por exemplo, pesquisas e instrumentos para estudos climáticos foram financiados pela indústria bélica, pelo Departamento de Defesa, pela Força Aérea e pela Agência de Energia Atômica dos Estados Unidos para que fossem estudados os riscos das consequências climáticas de inúmeras explosões dos testes atômicos ou os riscos de os soviéticos darem início a algum projeto de alteração ou controle do clima, por meio de lançamento de partículas ou elementos em grandes quantidades. Os estudos se dedicavam à seguir a disseminação e a circulação de traços de materiais radioativos, traçadores, na atmosfera, o que permitiu que a circulação das correntes atmosféricas fosse melhor compreendida pela comunidade científica – em relação às teorias anteriores de Halley, Hadley, Ferrel, Bjerknes e outros cientistas do período anterior à Guerra.

(...) Notando que “por séculos, os meteorologistas pensaram em explorar as circulações atmosféricas de larga escala por meio de traços”, os meteorologistas Machta, List e Hubert mobilizaram as partículas radioativas para estudar padrões globais de ventos em seu artigo de 1956 na Science, “World Wide Travel of Atomic Debris [Circulação Global de Detritos Atômicos]”. Usando dados das detonações [testes das bombas atômicas] Mike e Bravo, os pesquisadores demonstraram que as partículas atômicas entraram na alta atmosfera e circularam a Terra, sendo distribuídas pelo hemisfério norte. No processo, eles

*mapearam padrões de ventos estratosféricos. (...) Seu trabalho foi parte de um amplo escopo de novas pesquisas mobilizando os efeitos dos testes nucleares atmosféricos para estudar o transporte e a circulação ecológica (...)*⁴⁶ (MASCO, 2010, p. 12).

O antropólogo norte-americano Joseph Masco (2010), em seu estudo sobre a origem e o desenvolvimento dos discursos e imagens do risco da crise nuclear, ambiental e climática, argumenta que a corrida armamentista resultou em níveis sem precedentes de financiamento à pesquisa das ciências terrestres e atmosféricas.

O autor também afirma que o esboço do que mais tarde seria a ciência do genoma humano também surgiu das pesquisas militares norte-americanas sobre as consequências de testes nucleares em seres humanos e ecossistemas. O conhecimento geofísico sobre a tectônica de placas e a deriva continental também foi possibilitado pela criação de uma rede internacional de pesquisa sismográfica, dedicada principalmente à detecção de novas explosões nucleares, em um período de desconfianças diplomáticas generalizadas.

Da mesma forma, ocorreram avanços significativos em pesquisas cartográficas, oceanográficas, glaciológicas, meteorológicas, espaciais e computacionais financiadas pelas Forças Armadas dos Estados Unidos. Deste modo, o autor nomeia os Estados Unidos como um “Estado nuclear”, ao narrar a história da ciência e tecnologia durante a Guerra Fria nos Estados Unidos.

Em suma, o tempo, as calotas polares, as ciências atmosféricas e espaciais, a cartografia por satélites e a supercomputação, todas derivam seus financiamentos iniciais e apoios substanciais ao longo do século XX da lógica de segurança do Estado nuclear e seu

⁴⁶ No original: “Noting that ‘for centuries meteorologists have thought of exploring large-scale atmospheric circulations by means of tracers’, meteorologists Machta, List, and Hubert mobilized the fallout to study global wind patterns in their 1956 *Science* paper ‘World Wide Travel of Atomic Debris’. Using data from the Mike and Bravo detonations, the researchers demonstrated that fallout entered the upper stratosphere and circled the earth, distributing fallout across the northern hemisphere. In the process, they mapped stratospheric wind patterns (...). Their work was part of a wide range of new research mobilizing the effects of atmospheric nuclear testing to study ecological transport and circulation (...).”

comprometimento em construir a bomba – estabelecendo os bancos de dados iniciais e a infraestrutura para a ciência climática.

(...) A política de contenção da Guerra Fria envolveu não apenas a produção de bombas mas também mapas mais detalhados da Terra, sistemas globais de monitoramento do ar para elementos traçadores de radiação, sistemas de monitoramento sísmico (...) e finalmente a supercomputação e os sistemas de satélites, que proporcionaram maior sofisticação na modelagem meteorológica. Esse “mundo fechado”⁴⁷ do planejamento militar da Guerra Fria (...) encapsulou a Terra em sistemas militares, de comando, de controle e de vigilância, e, ao fazer isso, também criou novos entendimentos da Terra, do mar e do céu e da própria biosfera como um espaço ecológico integrado⁴⁸ (MASCO, 2010, pp. 16, 29).

Masco e Nathan Sayre (2012) afirmam que a Guerra Fria foi historicamente a condição contingente e crítica da possibilidade de não apenas falarmos em termos de uma “biosfera global”, um “clima global”, ou uma “mudança climática global”, como muitos cientistas estavam fazendo desde o século XIX, mas também de experimentar, por meio de modelos e simulações, estes fenômenos.

A modelagem computacional utilizada por climatologistas foi primeiramente desenvolvida para modelar e simular as consequências climáticas da precipitação radioativa de explosões nucleares e as narrativas dos riscos dos impactos da tecnologia no clima e na biosfera, centrais para a teoria das mudanças climáticas, foram estabelecidos neste período.

⁴⁷ “Mundo fechado”, do inglês *closed world*, é um termo de Edwards para se referir ao mundo não-público da ciência militarizada durante a Guerra Fria, encerrada em segredos estatais confidenciais (Masco, 2010).

⁴⁸ No original: “In sum, weather, ice caps, atmospheric and space sciences, satellite cartography, and supercomputing all derive their initial funding and substantial support through the 20th century via the security logics of the nuclear state and its commitment to building the bomb – establishing the early data sets and infrastructure for climate science. (...) The Cold War policy of containment involved not only producing bombs but also more detailed maps of the earth, global systems for monitoring air for radioactive trace elements, seismic monitoring systems (...), and ultimately, supercomputing and satellite systems, which provided increasing sophistication in weather modeling. This ‘closed world’ of Cold War military planning (...) encapsulated the earth in military, command, control, and surveillance systems, and in doing so, it also created new understandings of the earth, sea, and sky, and of the bio- sphere itself as an integrated ecological space.

A despeito das disputas geopolíticas, houve também o fortalecimento da cooperação iniciada com a criação das organizações internacionais entre 1945 e 1950. Uma das mais importantes cooperações científicas foi convocada pela OMM e lançada em 1957 como o Ano Geofísico Internacional (AGI). O AGI ampliou consideravelmente a organização e a quantidade de recursos para a comunidade acadêmica internacional (FLEMING, 1998). Reuniu delegações científicas de mais de cem países com o intuito de melhor compreender o funcionamento dos sistemas terrestres – a atmosfera, a alta atmosfera, os oceanos, a geofísica – e estudar a Terra como um “sistema físico único” – o que anteciparia a ciência do sistema terrestre, feita pela ciência ambiental contemporânea.

A componente atmosférica do AGI foi a que recebeu maiores investimentos e participação. Seu intuito era compreender melhor a circulação atmosférica global, um projeto verdadeiramente globalizante de ciência: estendendo-se pelo planeta na forma de mais de duas mil estações sinópticas na superfície, seiscentas estações acima da superfície, como balões e aviões, e alcançou regiões anteriormente inóspitas e inexploradas, como o espaço, as camadas altas da atmosfera e o continente antártico. O primeiro satélite espacial, o *Sputnik*, foi lançado pela União Soviética dentro do âmbito do AGI, por exemplo (FLEMING, 1998).

Sobre o AGI e o mútuo interesse das comunidades científicas e extra-científicas, principalmente os militares, Edwards prefere o argumento da “orientação mútua” entre os setores, ao invés da “cooptação” – o que reverbera analogamente na forma como Latour desenvolveu sua análises sobre o “*interessamento*” mútuo entre o mundo dentro e fora dos laboratórios na produção da ciência (LATOUR, 1983, 1988).

A ciência seria usada para promover uma visão particular da ordem mundial, mas em troca os cientistas poderiam promover melhor suas próprias visões. Seu envolvimento no governo e na governança produziria pressões a longo prazo a que os governos seriam forçados a responder. O buraco na camada de ozônio e as

mudanças climáticas são os maiores exemplos ⁴⁹
(EDWARDS, 2006, p. 246).

3.3 O EXPERIMENTO HUMANO DE LARGA ESCALA NA ATMOSFERA

Em 1956, Gilbert Plass, um dos criadores dos modelos computacionais de clima, foi um dos primeiros a afirmar, revisitando as hipóteses de Callendar (ver seção 2.3.3), que a humanidade, por meio da emissão de dióxido de carbono, estava realizando um “experimento de larga escala na atmosfera”, cujo resultado, o aumento da temperatura, seria percebido após muitas gerações (FLEMING, 1998, p. 122).

Roger Revelle, renomado físico norte-americano, em conjunto com Hans Suess⁵⁰, escreveram em 1957, um ano após Plass, um artigo bastante citado em que analisam os níveis de carbono emitido pela queima de combustíveis fósseis durante o período industrial e sua comparação com o período pré-industrial, para dizer, de forma semelhante a Plass e a Callendar, que:

Deste modo, os seres humanos estão conduzindo no momento um experimento geofísico de larga escala de um tipo que não poderia ter acontecido no passado e nem pode ser reproduzido no futuro. Dentro de alguns séculos, nós retornaremos à atmosfera e aos oceanos o carbono concentrado organicamente capturado em rochas sedimentares por centenas de milhões de anos. Esse experimento, se adequadamente documentado, permitirá uma visão de longo alcance nos processos que

⁴⁹ No original: “Science would be used to promote a particular vision of world order, but in exchange scientists could better promote their own. Their involvement in government and governance would, in the long run, produce pressures to which governments would be forced to respond. Ozone depletion and climate change are major cases in point.”

⁵⁰ O trabalho de Revelle e da maior parte dos cientistas atuais só foi possível devido à criação dos métodos de datação por carbono 14 por Suess.

*determinam o tempo e o clima*⁵¹ (REVELLE; SUESS, 1957, pp. 19–20).

Realizando uma discussão matemática sobre concentrações de carbono na atmosfera, oceano e biosfera, taxas de crescimento, absorção e decaimento, os autores concluem que:

Ao contemplar sobre o provável grande aumento na produção de CO₂ pela queima de combustíveis fósseis nas próximas décadas, nós concluímos que um aumento total de 20 a 40% no CO₂ atmosférico pode ser antecipado. Isso deve certamente ser o suficiente para permitir uma determinação dos efeitos, se houver, das mudanças do dióxido de carbono atmosférico no tempo e no clima ao redor da Terra.

*Dados atuais da quantidade total de CO₂ na atmosfera, das taxas e mecanismos da troca de CO₂ entre o mar e o ar e entre o ar e os solos, e das possíveis flutuações do carbono orgânico marinho são insuficientes para fornecer uma base precisa para medições das mudanças futuras do CO₂ atmosférico. Uma oportunidade existe durante o Ano Geofísico Internacional para se obter muitas dessas informações necessárias*⁵² (REVELLE; SUESS, 1957, p. 26).

Por meio de financiamentos da ampla rede de pesquisa do Ano Geofísico Internacional, Harry Wexler do *United States Weather Bureau*, financiou a construção no Observatório de Mauna Loa no Havaí de um instrumento capaz fazer

⁵¹ No original: “Thus human beings are now carrying out a large scale geophysical experiment of a kind that could not have happened in the past nor be reproduced in the future. Within a few centuries we are returning to the atmosphere and oceans the concentrated organic carbon stored in sedimentary rocks over hundreds of millions of years. This experiment, if adequately documented, may yield a far-reaching insight into the processes determining weather and climate”.

⁵² No original: “In contemplating the probably large increase in CO₂ production by fossil fuel combustion in coming decades we conclude that a total increase of 20 to 40% in atmospheric CO₂ can be anticipated. This should certainly be adequate to allow a determination of the effects, if any, of changes in atmospheric carbon dioxide on weather and climate throughout the earth.

Present data on the total amount of CO₂ in the atmosphere, on the rates and mechanisms of CO₂ exchange between the sea and the air and between the air and the soils, and on possible fluctuations in marine organic carbon, are insufficient to give an accurate base line for measurement of future changes in atmospheric CO₂. An opportunity exists during the International Geophysical Year to obtain much of the necessary information”.

análises de gases atmosféricos na escala infravermelha, com o intuito de manter uma série contínua de dados sobre a quantidade de CO₂ na atmosfera. O químico Charles Keeling, contratado por Revelle, conduziu as medições técnicas no Observatório próximo ao vulcão havaiano e também as medições de frascos com amostras de ar e de gelo coletados periodicamente no polo sul, no continente antártico, em missões científicas do AGI.

O historiador da meteorologia Adrian Howkins (2011) considera que a Antártica serviu de laboratório de proporções continentais para as pesquisas climáticas graças ao Ano Geofísico Internacional. A principal razão foi o desenvolvimento de técnicas de extração de blocos de gelo e a análise química laboratorial de seu material molecular e o financiamento internacional das missões. O gelo antártico tornou-se testemunha de climas passados, por meio da análise dos isótopos de átomos presos em bolhas de ar durante milhares de anos – diferentes temperaturas atmosféricas geram diferentes proporções de isótopos na composição atmosférica. Como longos blocos de gelo são extraídos, cada um deles contém uma história cronológica, congelada ao longo dos blocos na acumulação sucessiva de gelo, da composição atmosférica e da temperatura média global presas em bolhas de ar, ao longo de diferentes épocas.

A comparação das medidas locais de Mauna Loa e do polo sul com medições feitas em outros lugares do mundo resultou em um dos maiores ícones ambientais do século XX, a chamada curva de Keeling. A curva, medida continuamente desde 1958, mostra um contínuo crescimento da concentração do carbono atmosférico.⁵³

Fleming explora de forma detalhada a fama de Revelle, que ocupou diversas posições chave na burocracia científica nacional e internacional e na administração pública. Para a mídia norte-americana e a comunidade científica dos Estados Unidos, Revelle é considerado o “profeta do aquecimento global” e “avô do efeito-estufa”, mesmo não tendo sido o primeiro a afirmar tais coisas (1998, p. 122-128).

Revelle soube tecer sua rede de aliados e se inserir em redes normalmente consideradas extra-científicas – como posições no governo e na máquina da

⁵³ Fleming (1998) nos diz sobre outra curva, menos conhecida, desenhada por Callendar, que também mostra um crescimento contínuo do CO₂ atmosférico de 290ppm em 1870 para 325ppm em meados dos anos 1950, se encaixa perfeitamente à curva de Keeling, que inicia nos 315ppm em 1958.

administração pública. Levou seus laboratórios e redes de pesquisa, e todos os não-humanos de que tratava, ao interesse de setores governamentais e agências financiadoras de pesquisa. Alistando os interesses de aliados no governo e nas redes internacionais de pesquisa, como parte do comitê organizador do Ano Geofísico Internacional, Revelle pôde financiar suas pesquisas e de seus colegas – foi ele quem autorizou o financiamento do Observatório de Mauna Loa e quem comparou os dados de Mauna Loa com aqueles obtidos no polo sul graças a um acordo com projetos do AGI. Segundo Latour (1983, 2000a), não é somente com resultados precisos que se fazem os grandes nomes da ciência.

O que a maior parte desses pesquisadores fazem é *traduzir* (LATOUR, 1983; CALLON, 1986) experimentos localmente localizados em laboratórios em projeções e análises globais. A absorção de radiação por gases, absorção de CO₂ pela água marinha, por sedimentos e por plantas e estudos da duração das moléculas de CO₂ no ar livre são traduzidos de experimentos locais para fenômenos globais, a ponto de se tornarem o centro de uma nova narrativa de risco global.

Tradução é um deslocamento de escala e de localização. O CO₂ nanoscópico capturado em recipientes laboratoriais é traduzido, por meio de gráficos e artigos científicos e relatórios, em moléculas dispersas por toda a atmosfera, originárias de emissões industriais ou do desmatamento e com capacidade radiativa de aquecer o planeta de forma global. Medidas da concentração de CO₂ atmosférico possibilitadas por instrumentos em diferentes estações, no Havaí e na Antártica, são extrapolados e globalizadas em índices que correspondem à situação de toda a atmosfera. Temperaturas obtidas em diferentes estações meteorológicas são traduzidas, por meio de cálculos estatísticos e redes internacionais de compilações de dados, em índices de uma temperatura global.

São do início do século XIX as primeiras considerações científicas sobre a chamada temperatura terrestre ou global. Trata-se de uma medida bastante abstrata, pois não se refere a uma observação ou a uma medida realizada em dado tempo e dado local por um instrumento específico e sim ao produto de um conjunto de cálculos estatísticos que buscam deduzir uma única média para todo o globo num dado período. Como vimos anteriormente, Fourier e Arrhenius já faziam cálculos desse tipo. Os de Arrhenius são conhecidos até hoje por terem sido os primeiros a deduzirem a temperatura terrestre com e sem o cálculo do efeito-estufa.

A temperatura média global é uma medida que teve início na década de 1970 e é baseada em dados compilados pelos diferentes serviços meteorológicos nacionais, membros da OMI, desde pelo menos 1850⁵⁴. Instituições no Reino Unido e nos Estados Unidos passaram a fazer os cálculos da média mensal da temperatura global, dividindo o globo em uma grade com células com 5° de latitude e 5° de longitude de cada lado e calculando a média a partir das temperaturas médias mensais obtidas de forma padronizada em cada estação meteorológica encontrada nesta célula.

As médias são calculadas para o todo o globo a partir das médias da células. Para as células da grade que não possuem estações meteorológicas, calculam-se aproximações a partir de estações mais próximas – caso da Amazônia, do Saara, da Sibéria e de outros locais pouco habitados. As médias oceânicas são obtidas a partir de medições feitas em navios científicos ou voluntariamente em navios comerciais. Para estações meteorológicas muito próximas a cidades, são calculados e deduzidos os efeitos das ilhas de calor.

Tanto o cálculo feito no Reino Unido, pelo Met Office Hadley Center, do Escritório Meteorológico Britânico em conjunto ao Centro de Pesquisas Climáticas da Universidade de East Anglia, como o feito nos Estados Unidos, tanto pelo Instituto Goddard de Pesquisas Espaciais da Agência Espacial Norte-Americana (NASA), como pelo Centro Nacional de Dados Climáticos da Administração Nacional Oceânica e Atmosférica (NCDC/NOAA), produzem valores a partir de meados do século XIX, como 1850 ou 1861 – época em que a rede de estações meteorológicas ainda era muito pouco espalhada pelo mundo e muito concentrados nos Estados Unidos e Europa ocidental, ou nas rotas comerciais dos oceanos setentrionais. Essas médias são utilizadas pelo OMM e pelo IPCC para calcular anomalias de temperatura, de aquecimento ou esfriamento. O período utilizado é a

⁵⁴ Fonte da seção sobre temperatura média global: <http://data.giss.nasa.gov/gistemp/> Instituto Goddard de Estudos Espaciais da NASA, Agência Espacial Norte-americana; assim como a página da enciclopédia livre virtual Wikipedia http://en.wikipedia.org/wiki/Instrumental_temperature_record (acesso em dezembro de 2013).

média climatológica de trinta anos e atualmente se refere ao período de 1961-1990⁵⁵.

Interessante notar como a ciência climática cresce lentamente de práticas realizadas em laboratórios urbanos, como as realizadas por Tyndall, a estudos desenvolvidos por meio da cooperação com colegas e redes internacionais, como os trabalhos de Arrhenius e Callendar, a experimentos envolvendo grandes projetos de pesquisa, cobrindo grandes territórios e com amplo financiamento, como o liderado por Revelle. Foram estes projetos internacionais de escala planetária que fizeram que os anos 1960 testemunhassem a criação da correlação entre as medidas históricas da temperatura e as medições das concentração de gases obtidos na Antártica e no Havaí – base fundamental das mudanças climáticas atualmente - (HOWKINS, 2011, p. 188). Uma das formas criadas neste período de expansão e consolidação da ciência climática, para ampliar o alcance das práticas científicas em experimentar e simular o chamado experimento humano na atmosfera foi por meio das simulações computacionais.

3.4 A ERA DA COMPUTAÇÃO

Os modelos computacionais tornaram-se uma das formas mais eficazes da ciência climática de realizar essas traduções de escala entre elementos localmente produzidos, mas globalmente estendidos. As previsões meteorológicas de poucas horas ou dias são parcialmente possíveis porque a escala de tempo e de quantidade de variáveis é pequena. Entretanto, ao lidar com fenômenos climáticos, da longa duração e de escala regional ou global, mapas e observações e estatísticas não são suficiente, devido ao número grandioso de variáveis a se calcular.

A era da computação foi um passo para possibilitar essa enorme ampliação de dados, medições e cálculos, oferecendo o que Fleming chama de “as novas perspectivas privilegiadas sobre o clima” (1998, p. 130). Dos gráficos e tabelas feitos no papel e instrumentos mecânicos e depois elétricos, passamos aos

⁵⁵ O próximo período começará em 2021 a partir das médias de 1991-2020.

instrumentos eletrônicos, os computadores analógicos e depois digitais e aos satélites espaciais.

David Demeritt, do Departamento de Geografia do King's College escreve:

É comum citar o trabalho de Arrhenius (1896), quem primeiro formulou a hipótese sobre um efeito-estufa estimulado pela acumulação atmosférica de CO₂ a partir do consumo de combustíveis fósseis. Entretanto, como o papel de Gregor Mendel na história da genética, a teoria de Arrhenius não produziu nenhum impacto institucional ou intelectual nas ciências atmosféricas de seu tempo. Ao invés disso, as preocupações científicas contemporâneas com o aquecimento global vieram de uma prática muito mais recente de modelagem matemática e a combinação de modelos oceanográficos do ciclo global de carbono com modelos numéricos da atmosfera (...). Seu legado é o modelo de circulação geral (GCM) [general circulation model]. GCMs simulam o comportamento do sistema climático dividindo a terra em grades tridimensionais e usando supercomputadores para resolver equações matemáticas representando trocas de matéria e energia entre os pontos das grades. Em termos do número completo de processos explicitamente incorporados e o nível de abstração e complexidade que eles representam, os GCMs estão no topo de uma hierarquia de modelos relacionados de simulações matemáticas das dinâmicas oceânicas e atmosféricas⁵⁶ (DEMERRITT, 2001, pp. 314-315, grifos do autor).

⁵⁶ No original: "It is common to cite the work of Arrhenius (1896), who first hypothesized about an enhanced greenhouse effect brought on by the atmospheric accumulation of CO₂ from fossil fuel consumption. However, like Gregor Mendel's role in the history of genetics, Arrhenius's theory made no institutional or intellectual impact on the atmospheric sciences at the time. Instead, contemporary scientific concerns with global warming come out of the much more recent practice of mathematical modeling and the combination of oceanographic modeling of the global carbon cycle with numerical modeling of the atmosphere (...). Their legacy is the general circulation model (GCM). GCMs simulate the behavior of the climate system by dividing the earth into a three-dimensional grid and using supercomputers to solve mathematical equations representing exchanges of matter and energy between the grid points. In terms of the comprehensive number of processes explicitly incorporated and the level of abstraction and complexity at which they are represented, GCMs sit atop a hierarchy of related mathematical simulation models of ocean and atmospheric dynamics."

O primeiro computador eletrônico digital de larga escala, chamado de ENIAC, foi construído nos Estados Unidos ao final da segunda guerra mundial com finalidade de estudar o desenvolvimento da bomba de hidrogênio. Como vimos na seção 3.1, durante um período de financiamento crescente de pesquisa sobre a influência de explosões de testes nucleares no clima e na biosfera global, modelos computacionais foram desenvolvidos pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos para prever a sensibilidade do clima à grandes perturbações assim como o comportamento das explosões nucleares (DÖRRIES, 2011, pp. 204–205).

O desenvolvimento intenso da computação no período pós-guerra ofereceu um novo mundo de possibilidades para as pesquisas meteorológicas e climáticas. Os recém-criados computadores permitiam a resolução de um número muito grande de equações matemáticas concomitantes e a obtenção de um número muito grande de resultados que antes eram obtidos manualmente.

John von Neumann entrou em contato com meteorologistas, como Carl-Gustav Rossby, emigrado da Escandinávia para os Estados Unidos, como Bjerknes, para auxiliar na parte teórica e matemática das descrições e equações da dinâmica atmosférica na constituição de um modelo computacional para simulação e previsão do tempo (EDWARDS, 2010, p. 117-118). Em 1950 utilizou-se o ENIAC para realizar a primeira tentativa de previsão meteorológica numérica, isto é, computacional e nos anos seguintes tentativas parecidas eram realizadas na Inglaterra e na Suécia. Apesar da promessa de velocidade da computação, o ENIAC e os primeiros computadores eram extremamente lentos e só operavam com *inputs* bastante simplificados das equações complexas que descreviam as dinâmicas atmosféricas.

Além dos modelos computacionais meteorológicos, houve também o desenvolvimento de modelos climáticos. Gilbert Plass desenvolveu um modelo computacional nos anos 1950 para apoiar suas pesquisas sobre o clima, o dióxido de carbono e a absorção e transferência radiativa, e avançar os estudos climatológicos que faziam uso de tabelas e gráficos dos anos 1940 com informações físicas bastante simplificadas. Ele foi um dos pioneiros das pesquisas com modelos computacionais que criaram pontes entre a geoquímica do ciclo do carbono e a geofísica da absorção atmosférica de radiação por gases. Seu modelo incluía apenas

trocas de calor e coeficientes radiativos dos gases entre o planeta, visto como uma unidade, e o espaço sideral (FLEMING, 1998, p. 130).

É desta época o trabalho de Edward Lorenz, Norman Philips e Jule Charney no Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT) com modelos atmosféricos simples, de doze variáveis e correlações, baseado em experimentos laboratoriais com computadores e pequenas câmaras de ar simulando fenômenos atmosféricos simples. Foi a partir deste modelo simples que Lorenz desenvolveu teorias sobre causas e consequências dos chamados fenômenos determinísticos não-periódicos no início da década de 1960. Este foi um primeiro passo em direção ao que mais tarde foi chamado de Teoria do Caos (GLEICK, 1987, pp. 11-31).

O jornalista de ciência, James Gleick (1987, p. 14), ao escrever uma obra dedicada à história da Teoria do Caos, diz que a história da computação e a história das previsões estiveram interligadas desde os anos 1950. A computação poderia ser uma ferramenta essencial para o estudo determinístico do clima e do tempo, devido a possibilidade de realizar uma quantidade sem precedentes de cálculos. Gleick ainda afirma que “a modelagem computacional de fato foi bem sucedida em transformar o trabalho meteorológico de uma arte a uma ciência” (p. 20).⁵⁷ Os fenômenos atmosféricos são não-periódicos e não-lineares e, por serem extremamente sensíveis às condições iniciais, dificilmente são previsíveis no médio e longo prazo. Isto significa que apesar de serem considerados determinísticos, isto é totalmente dependente das condições e fatores iniciais, estes fenômenos são imprevisíveis, pois qualquer minúscula diferença nas condições iniciais criam flutuações que levam a resultados altamente divergentes.

Os modelos computacionais continuaram a ser desenvolvidos de ambos os lados do Oceano Atlântico Norte. A maior parte destes modelos considerava a atmosfera como uma capa uniforme ao redor da superfície terrestre, até que em 1975 o modelo climático de Manabe e Wetherald tornou-se o primeiro grande modelo de circulação geral da atmosfera e incluía, além da radiação dos gases, a convecção térmica – que deixava a atmosfera simulada dinâmica e turbulenta, e não

⁵⁷ Interessante notar como, no século XIX, a transformação da meteorologia de uma arte a uma ciência foi o objetivo principal dos naturalistas dedicados a construir instrumentos de medição, formular padronizações de notação, séries históricas e médias estatísticas e constituir redes nacionais e internacionais de investigação (ver o capítulo 2).

uniforme como nos modelos anteriores⁵⁸. O modelo calculava a temperatura média global e projetou um aquecimento de 2,3°C se a concentração de CO₂ atmosférico dobrasse. Este modelo foi o primeiro que representou a atmosfera tridimensionalmente, graças a inclusão da convecção, que criava diferenças de temperatura de acordo com a latitude e altitude (FLEMING, 1998, p. 130; HULME, 2009, pp. 56–60).

Os modelos climáticos e meteorológicos não são reproduções fidedignas da superfície terrestre. Devido ao enorme grau de complexidade teórica e computacional envolvida na resolução de suas equações por supercomputadores os cientistas representam a superfície da Terra por meio de uma grade quadriculada composta por uma série de células de áreas definidas. A resolução de um modelo representa o tamanho destas áreas em latitude e longitude. Um modelo de resolução de 500km, por exemplo, possui células com 500km em cada lado - o que significa que ilhas do tamanho da Islândia são invisíveis. O primeiro modelo meteorológico computacional, operado pelo grupo de Rossby no ENIAC em 1950, representava apenas o hemisfério norte ocidental (isto é, a América do Norte) e calculava as equações para cada um dos 270 pontos de grade, que, espalhados no mapa, estão separados por 736km uns dos outros (EDWARDS, 2010, p. 120-121).

Estes modelos primordiais eram extremamente simplificados: além da baixa resolução espacial, eles representavam apenas uma altura baixa da camada vertical da atmosfera, devido à falta de dados e de teoria sobre as dinâmicas da alta atmosfera; não representavam os oceanos, apenas uma cobertura da superfície terrestre de 70% de água não especificada; além de não haver nuvens. Somente em 1977 foi desenvolvido o modelo de Manabe e Bryan que incluía processos oceânicos (HULME, 2009, p. 58).

Cada novo grupo de modelos se referia a um novo conjunto de processos físicos – desenvolvidos pelos cientistas para descrever cada fenômeno natural -, com suas equações, um novo conjunto de inter-relações entre os processos, e escalas cada vez mais detalhadas. Para dar cabo da expansão virtual do alcance da escala das simulações, era necessário a expansão física das redes de coleta de dados, que

⁵⁸ Para mais detalhes sobre a circulação geral da atmosfera, a radiação dos gases e a convecção térmica, ver seção 4.2 do próximo capítulo.

são os *inputs* básicos, as variáveis que as equações irão resolver. Era necessário também uma maior padronização dos dados, maior coordenação entre as comunidades científicas e maior distribuição de informação (EDWARDS, 2006, p. 248). Meus informantes, como veremos no próximo capítulo, citam a consolidação da tecnologia espacial no final da década de 1970, e o uso dos satélites, como um importante avanço na expansão da rede de obtenção de dados da superfície terrestre.

Para Hulme, foi a preocupação ambiental, que compreendia a Terra como um sistema interconectado, que levou a novas formas de compreender e representar as mudanças climáticas. Os novos modelos e o novo tipo de ciência realizada pelas redes de mudanças climáticas eram intimamente relacionados à necessidade de tornar mais complexa a compreensão do sistema terrestre e suas múltiplas componentes – atmosfera, oceanos, cobertura de gelo, ecossistemas, cobertura da terra e atividades humanas (HULME, 2009, p. 60). Para ele, a metáfora da Gaia, ou do sistema terrestre, são formas de compreender e agir no mundo, historicamente criadas, e muito recentes - não são de forma alguma evidentes ou dadas.

3.5 O AMBIENTALISMO INTERNACIONAL

Como vimos na seção 3.1, havia preocupações nacionais e internacionais de que os testes nucleares estivessem alterando o clima. Muitos cientistas foram convocados para um inquérito parlamentar no Congresso norte-americano em 1955 para comentar os estudos sobre estas correlações (DÖRRIES, 2011, pp. 202–204). Outras preocupações incluíam as alterações no clima devido às atividades soviéticas e tentativas de controlar o clima por meio de técnicas de criação de nuvens ou de derretimento das calotas polares – arremessando-se poeira de aviões (FLEMING, 1998, pp. 129–134).

Segundo o historiador Dörries (2011) os estudos sobre testes nucleares nos anos 1960 e 1970 transformaram profundamente o significado que se dava ao termo “ambiental”. Os lançamentos espaciais do final da década de 1950 já ampliavam a dimensão geográfica da ciência moderna para um escopo global e o categoria “ambiental” ultrapassou as fronteiras originais de espaço que o limitavam aos

ecossistemas locais, o ambiente que envolve os seres, e de tempo, por meio dos estudos sistemáticos das consequências a longo prazo da ação humana (pp. 199–200).

Há todo um repertório do período da Guerra Fria que denota essa visão mais alargada para a longa duração e a dimensão global dos riscos catastrófico criados pela tecnologia – “primavera silenciosa”, em torno do uso de pesticidas e do DDT na agricultura, “experimento humano geofísico de larga escala”, “aquecimento global antropogênico”, “inverno nuclear”, “buraco na camada de ozônio”. Estes “pontos focais”, como os chama Dörries, estiveram no centro do surgimento do movimento ambientalista contemporâneo e na criação de redes científicas transnacionais e agências governamentais e internacionais, para além dos interesses militar.

Os anos 1960 e 1970 viram o surgimento de uma série de agências de proteção e estudos do meio ambiente no mundo ocidental. Uma delas, nos Estados Unidos, ligada à Presidência, publicou um relatório em 1965, “Restaurando a Qualidade de Nosso Meio Ambiente” (*Restoring the Quality of Our Environment*), que incluía uma seção sobre o dióxido de carbono atmosférico e uma discussão das consequências do aquecimento global, escrito por diversos cientistas, incluindo Revelle e Keeling (DÖRRIES, 2011, p. 205).

1968 foi a data do primeiro evento em torno da questão ambiental e climática, com a realização de conferências sobre o meio ambiente pela Organização Educacional, Científica e Cultural das Nações Unidas (UNESCO). Ela foi seguida pela Conferência sobre o Meio Ambiente Humano em Estocolmo em 1972, convocada pela Assembleia Geral da ONU. A atmosfera começava a ser vista como não apenas um sistema físico, mas como o foco de um problema globalmente compartilhado, em que atividades locais influenciavam diretamente sua composição e comportamento, e, portanto, um problema de governança global, que exige decisões, compromissos e responsabilidades globais (DÖRRIES, 2011, p. 206) – ideias que continuaram a se desenvolver ao longo da história do IPCC até hoje.

A Primeira Conferência Mundial do Clima, realizada em 1979, convocada pela Organização Meteorológica Mundial (OMM), produziu um relatório que definiu os diferentes climas como interdependentes; a influência humana no clima como

limitada às escalas locais e, em poucos casos, regionais; e advertiu para o problema da expansão desenfreada das atividades humanas e de seu possível impacto global futuro⁵⁹.

Dörries escreve sobre as mudanças que ocorreram nos discursos científicos durante e após a realização destas conferências intergovernamentais (2011, p. 207). Baseando-se em publicações científicas criadas por uma rede de instituições norte-americanas e suecas, as conferências promoveram uma maior cooperação entre as comunidades científicas nacionais, a divulgação pública das informações científicas, e os estudos realizados em universidades – totalmente contrário aos estudos normalmente confidenciais financiados pela indústria bélica e pelos departamentos militares e fortemente pautados pelas preocupações e discursos dos interesses nacionais.

Para Dörries, os debates do final da Guerra Fria em torno do problema do “inverno nuclear”, no início dos anos 1980, junto a problemas relativos ao clima na produção de alimentos, os eventos El Niño, e o buraco na camada de ozônio preparam o terreno para o debate global aprofundado em torno do aquecimento global antropogênico para além das comunidades científicas a partir de 1990 – data de publicação do primeiro relatório do IPCC (2011, pp. 200–201).

A primeira Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, realizada em junho de 1992 no Rio de Janeiro, e conhecida usualmente como “Cúpula da Terra”, “Eco-92” ou “Rio-92”, havia sido um marco internacional e nacional nos debates ambientalistas, assim como da política e da ciência das mudanças climáticas. Seus documentos, discussões e consequências institucionais repercutiram na comunidade científica e em suas pesquisas realizadas sobre as mudanças climáticas no Brasil, inclusive na Universidade de São Paulo (FREITAS; AMBRIZZI, 2012).

Houve a consolidação de um regime internacional das mudanças ambientais e climáticas, tanto no meio diplomático, por meio da criação da Convenção-Quadro das Nações Unidas para Mudanças Climáticas (UNFCCC, em inglês), quanto no meio científico internacional, por meio do IPCC, criado quatro anos antes.

⁵⁹ Fonte: website da Organização Meteorológica Mundial http://www.wmo.int/pages/themes/climate/international_wcc.php#a

A UNFCCC estipulou a realização de conferências periódicas da comunidade diplomática, as chamadas Conferências das Partes (COP), para debater com mais profundidade e acordar mecanismos de mitigação e adaptação às mudanças do clima e a conservação da biodiversidade, tema bastante sensível à comunidade científica brasileira⁶⁰. Uma de suas reuniões mais conhecidas foi realizada em Quioto, no Japão, em 1997 e produziu o conhecido Protocolo de Quioto sobre a redução das emissões de carbono pelos países industrializados e estipulou o mercado de créditos de carbono.

Se as COPs reuniam os líderes e os diplomatas de todo o mundo, o IPCC, o outro braço das Nações Unidas para as mudanças climáticas, e criado na década anterior pelo PNUMA (ONU) e pela OMM, tornou-se o ponto de encontro periódico da comunidade científica internacional dedicada a estudos de mudanças do clima. Seu objetivo é “avaliar de forma abrangente, objetiva, aberta e transparente as informações científicas, técnicas e socioeconômicas relevantes à compreensão da base científica do risco das mudanças climáticas induzidas pelo homem, seus impactos potenciais e opções para adaptação e mitigação” (IPCC, 2012, § 2).

O IPCC é organizado por um comitê composto por representantes dos governos, “(...) garantindo que o trabalho do Painel fosse claramente visto como a serviço das necessidades dos governos e da política”⁶¹ (HULME, 2009, p. 95) – e não como um órgão científico independente. O primeiro relatório do IPCC, publicado em 1990 e chamado de AR1 (*First Assessment Report*, Primeiro Relatório de Avaliação) serviu de base, por exemplo, junto ao relatório suplementar de 1992, produzido especialmente para a Eco-92, para a criação de seu braço político, o UNFCCC.

Outros relatórios do IPCC foram publicados ao longo dos últimos vinte anos, o segundo (AR2) em 1992, após a reunião da Eco-92, o terceiro (AR3) em 2001, o

⁶⁰ Desde os anos oitenta, o Brasil havia se tornado conhecido mundialmente como um dos grandes focos globais de desmatamento. A comunidade científica brasileira e internacional se dedicava desde então, por meio de grandes consórcios e projetos internacionais de pesquisa, a compreender melhor o funcionamento da Floresta Amazônica frente aos impactos humanos (LAHSEN, 2009a).

⁶¹ No original: “(...) ensuring that the Panel’s work was clearly seen to be serving the needs of government and policy”.

quarto (AR4) em 2007 e o quinto (AR5) publicado em 2013. Cada um deles possui suas particularidades e divisões de capítulos e temas, pois a composição de cada IPCC varia de um relatório para o outro.

O órgão não produz suas próprias pesquisas, mas funciona como um fórum onde milhares de cientistas, selecionados pelos governos membros, escrevem e revisam relatórios científicos baseados na literatura revisada por pares. Estes relatórios servem de base para a comunidade científica internacional, onde são amplamente citados (THE ROYAL SOCIETY, 2005). Suas análises e relatórios das pesquisas produzem um extenso vocabulário utilizado amplamente pela comunidade científica, o que faz com que o Painel tenha um peso importante na configuração e conformação da ciência climática.

Edwards comenta que a aceitação quase consensual da existência das mudanças climáticas nos fóruns políticos internacionais ocorreu sobretudo devido ao fortalecimento das redes científicas. Por décadas, os avisos científicos das mudanças climáticas antropogênicas foram resistidos pelas lideranças políticas, situação que alterou-se a cada nova publicação de um relatório do IPCC – que deve ser votado pelas delegações nacionais para ser aprovado. O fortalecimento das redes de medições científicas nos mostra a existência das redes científicas-políticas, pois ele depende de acordos políticos entre cientistas e políticos, entre pesquisa e financiamento, entre relatórios e políticas públicas. As redes científicas ao se tornarem altamente padronizadas, desenvolvidas, “infraestruturas de informação globalizadas”, conseguem mobilizar agendas públicas de debate com força suficiente para que as lideranças políticas não as ignorem (EDWARDS, 2006, pp. 249-250).

Lahsen descreve ciência como “uma força de primeira grandeza, poderosa e persistente que transforma as relações internacionais”. Menciona que os “significados compartilhados e crenças sobre as relações causais (...) [caracterizam] redes amplas e transnacionais de cientistas e tomadores de decisão interagindo em circuitos científicos e diplomáticos em torno de problemas ambientais globais e transfronteiriços”⁶² (2009a, p. 365).

⁶² No original: “(...) science as a ‘powerful and persistent’ prime force transforming international affairs” “(...) shared meaning and beliefs about causal relationships (...)”

De acordo com Hulme, fóruns como o IPCC representaram o surgimento de um “novo ambiente de operação para a ciência”, em que uma nova interface entre ciência e política foi criada, voltada para uma “ciência pós-normal” (HULME, 2009, p. 92). Ciência pós-normal foi um termo cunhado nos anos 1990 pelos filósofos da ciência, Silvio Funtowicz e Jerry Ravetz, para denotar uma ciência em que os fatos são incertos, os valores estão em disputa, os riscos são altos e as decisões urgentes – diferenciando-se da ciência normal mertoniana. Justamente pelo enorme grau incerteza, apresentado pelas simulações matemáticas, e de disputa quanto aos valores, em relação à diferentes considerações sobre a proteção ambiental, que as mudanças climáticas se tornaram tão controversas e tão centrais nos debates públicos contemporâneos – inclusive no Brasil, como veremos a seguir.

3.6 REDES DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO BRASIL

3.6.1 Ciência e Política das Mudanças Climáticas no Brasil

O Brasil tornou-se um ator central nos fóruns internacionais de mudanças do clima. Um país de dimensões continentais, cuja ocupação territorial, política energética e políticas de conservação ambiental possuem um impacto direto nas dinâmicas naturais globais. A diplomacia brasileira, primeiro receosa da presença da comunidade científica internacional no território brasileiro, após o regime militar, principalmente na floresta amazônica, tornou-se participante ativa da formulação de políticas no regime internacional (LAHSEN, 2009a).

O Brasil já era signatário da UNFCCC nos anos 1990. Entretanto, a questão ambiental ainda não era um dos eixos centrais da política institucional. A representação governamental nos fóruns internacionais, por exemplo, era feita pelo Ministério das Relações Exteriores (MRE), dominado por discursos e argumentos

characterize vast, transnational networks of scientists and policy makers interacting in scientific and diplomatic circuits around global or transboundary environment problems”.

distanciados da comunidade científica e do ativismo ambientalista, pautados pela agenda da defesa e da soberania nacional (LAHSEN, 2009a, pp. 356–364).

No Brasil, após a realização da Rio 92 decorreu a expansão do número de pesquisas e projetos científicos que estudam os problemas ambientais e particularmente as mudanças climáticas (FREITAS; AMBRIZZI, 2012). Houve uma forte inserção do governo brasileiro, por meio de seus ministérios, institutos especializados e agências públicas de financiamento de pesquisas, na consolidação das redes científicas que estudam as mudanças climáticas.

As principais mudanças vieram nos anos 2000, quando foi criado o Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas, por um decreto do então presidente Fernando Henrique Cardoso, para reunir Ministros de Estado, instituições governamentais, órgãos da sociedade civil e dos setores econômicos e instituições de pesquisa, como o objetivo de “conscientizar e mobilizar a sociedade para a discussão e tomada de posição sobre os problemas decorrentes da mudança do clima por gases de efeito-estufa, bem como sobre o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) definido no Artigo 12 do Protocolo de Quioto à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, ratificada pelo Congresso Nacional por meio do Decreto Legislativo nº 1, de 3 de fevereiro de 1994” e “auxiliar o governo na incorporação das questões sobre mudanças climáticas nas diversas etapas das políticas públicas”⁶³.

Segundo Lahsen (2009), o Ministério do Meio Ambiente (MMA), um órgão criado logo após a Eco-92, passou a se interessar pelas mudanças climáticas a partir de 2001 e deixou de ser uma instituição lateral dentro do governo federal na questão. O ministério sempre foi bastante conectado ao movimento verde, possuía líderes de ONGs ambientalistas em posições decisivas no quadro ministerial e foi lentamente sendo fortalecido e estruturado por decisões ao longo dos governos dos ex-presidentes, Fernando Henrique Cardoso e Luiz Inácio Lula da Silva.

Em sua pesquisa sobre controvérsias entre cientistas e tomadores de decisão, a antropóloga nos mostra que, diferentemente do MRE, o MMA se aproximou da comunidade científica (LAHSEN, 2009a). O ministério criou, em seu quadro

⁶³ Fonte: <http://www.forumclima.org.br/> acesso em dezembro de 2013.

institucional, secretarias e postos técnicos específicos para cientistas de renome e convidando cientistas para compor a delegação brasileira nas negociações internacionais. A Secretaria de Mudanças Climáticas e Qualidade Ambiental (SMCQ) do MMA, por exemplo, foi ocupada por pesquisadores da Embrapa em Campinas, Eduardo Assad, e da Universidade de Brasília, Carlos Augusto Klink, ligados às pesquisas das mudanças ambientais.

A Secretaria de Biodiversidade e Florestas deste ministério (SBD/MMA), por exemplo, publicou um conjunto de relatórios dentro do projeto *Mudanças Climáticas Globais e seus Efeitos sobre a Biodiversidade*, que foram citados no primeiro capítulos (AMBRIZZI et al., 2007; MARENGO, 2006). Esse foi um dos projetos que demonstram a associação profunda que foi criada entre setores governamentais e científicos nos últimos anos no Brasil. Esta rede é responsável por muitas das definições de riscos que o país enfrentará num futuro de mudanças do clima.

O Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), apontado por Lahsen como um órgão auxiliar e técnico do MRE nas questões ambientais durante os anos 1990, tornou-se um dos principais atores no tema durante os anos 2000. Possui atualmente em seu quadro de funcionários a Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento, ocupada desde 2011 pelo pesquisador do Inpe, Carlos Nobre, um dos principais nomes da rede científica nacional sobre mudanças climáticas⁶⁴.

Em 2004 e em 2010, o MCTI foi responsável por escrever as duas comunicações brasileiras à UNFCCC, relatando os controles que o governo brasileiro adotaria em relação às emissões de gases de efeito-estufa e realizando

⁶⁴ De acordo com seu currículo Lattes, Carlos Nobre é pesquisador do Inpe desde 1983, onde é professor titular e foi chefe do Centro de Ciência do Sistema Terrestre de 2008 a 2011 e coordenador geral do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) de 1991 a 2003. Foi coordenador do LBA entre 1996 a 2002 e de outras redes transnacionais de pesquisa. Atualmente é presidente dos Conselhos Diretores da Rede Brasileira de Pesquisas sobre Mudanças Climáticas (Rede CLIMA) e do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC) e foi coordenador do Programa FAPESP de Pesquisa em Mudanças Climáticas Globais (PFPMCG) entre 2008 e 2011 e presidente do Comitê Científico do *International Geosphere-Biosphere Programme* (IGBP). Participou como autor de vários relatórios do IPCC, especialmente foi do Quarto Relatório de Avaliação do IPCC, agraciado com o Prêmio Nobel da Paz de 2007, juntamente com Al Gore.

dois inventários de emissões de gases de efeito-estuda – um esforço de grandes proporções de listar as principais fontes emissoras de gases em território nacional, envolvendo centenas de cientistas, economistas e quadros do governo.

O Brasil era o quinto maior emissor destes gases - sobretudo por causa do desmatamento da Amazônia, das queimadas florestais e das mudanças do uso do solo para criação de novas pastagens e áreas de cultivo. O desmatamento da Amazônia era monitorado pelo governo federal por meio do PRODES, um centro de monitoramento por satélite do Inpe, desde 1988. De acordo com o PRODES⁶⁵, ele teve dois picos, em 1995 e 2004, em que atingiu os valores aproximados de 29.000km² e 27.000km² e foi crescente até o ano da primeira comunicação nacional, quando o governo colocou em prática medidas de controle mais duras.

As comunicações do Brasil à UFCCC tinham por intuito estabelecer um marco na associação entre ciência, tecnologia e política, por meio da incorporação do inventário de emissões, em si um produto da associação entre política e ciência, às políticas públicas da área climática.

A Política Nacional sobre Mudança do Clima, aprovada como lei em 2009 (Projeto de Lei n. 3.535/2008), durante o governo do então presidente Luiz Inácio Lula da Silva, previa metas voluntárias de redução das emissões de gases de efeito-estufa, principalmente por meio do controle do desmatamento⁶⁶. A política associada à rede tecnocientífica teve eficácia e, em 2013, o desmatamento foi reduzido para a marca de 5.000km², segundo o website do PRODES⁶⁷. As metas foram voluntárias porque, desde o Protocolo de Quioto em 1997, apenas os países historicamente desenvolvidos, os principais emissores históricos de gases de efeito-estufa, tinham metas obrigatórias de redução de emissões. As metas voluntárias do Brasil, pioneiras no regime internacional do clima, foram apresentadas pela delegação brasileira na COP-15 em Copenhague em 2009 e representaram um dos maiores passos do Brasil a se tornar um ator internacional importante.

A comunidade científica brasileira ampliou consideravelmente sua presença, com contribuições práticas e teóricas nas discussões científicas internacionais,

⁶⁵ <http://www.obt.inpe.br/prodes/index.php> acesso em dezembro de 2013.

⁶⁶ <http://www.mma.gov.br/clima/politica-nacional-sobre-mudanca-do-clima>, acesso em outubro de 2014.

⁶⁷ <http://www.obt.inpe.br/prodes/index.php> acesso em dezembro de 2013.

principalmente no IPCC⁶⁸. De acordo com Michel, um dos representantes nacionais no IPCC e informante deste trabalho e cujo trabalho analisaremos no próximo capítulo, eles são escolhidos pelas delegações diplomáticas, o Ministério das Relações Exteriores e o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, com base na publicação e na relevância científica dos autores. Especificamente do Grupo de Trabalho 1 do IPCC, temos os pesquisadores Carlos Nobre (Inpe / MCTI), Edmo Campos, (IO-USP), Paulo Artaxo (IF-USP), Maria Assunção Faus da Silva Dias (IAG-USP), Tércio Ambrizzi (IAG-USP), entre outros.

As pesquisas específicas sobre mudanças climáticas dentro do Brasil também se expandiram em número e em qualidade na década de 2000, quando a atenção nacional se voltou para o tema, em ressonância ao resto do mundo. Pesquisas já eram realizadas no âmbito de redes científicas nacionais ou transnacionais dos anos 1990, como o Programa Internacional da Geosfera-Biosfera (IPGB) e o Experimento de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia (LBA), por exemplo (FAPESP, 2008).⁶⁹

Tércio Ambrizzi e Edmilson Dias de Freitas, professores do IAG/USP, atribuem o aumento expressivo nos últimos anos do número de teses e dissertações defendidas na Universidade de São Paulo tratando de algum aspecto das mudanças climáticas às publicações destes relatórios - principalmente o terceiro relatório (AR3), de 2001.

Esse relatório foi um dos mais citados até hoje, em virtude de um de seus capítulos discutir em detalhes as bases científicas das Mudanças Climáticas (IPCC, 2001). Após a publicação desse importante trabalho, aspectos como ciclo de carbono, queima de combustíveis fósseis, aquecimento global, desmatamento, eventos extremos e

⁶⁸ Luiz Gylvan Meira Filho, professor convidado do Instituto de Estudos Avançados da Universidade de São Paulo (IEA/USP), um dos pesquisadores responsáveis pela criação do primeiro programa de pesquisas meteorológicas do Instituto de Pesquisas Espaciais (Inpe), na década de 1970, e pela criação do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC/Inpe), desta instituição, nos anos 1980, foi vice-presidente do IPCC.

⁶⁹ O LBA foi um programa desenvolvido pela NASA e pela União Europeia em parceria com pesquisadores brasileiros a partir dos anos 1990 para estudar os processos ambientais amazônicos, biológicos, físicos e químicos, e as relações entre mudanças ambientais na Amazônia e as mudanças ambientais no globo, incluindo mudanças climáticas (LAHSEN, 2009a).

muitos outros começaram a ser estudados numa perspectiva mais ampla e correlacionada. O que antes era estudado de maneira isolada por área passou a ser considerado de maneira interdisciplinar, dando origem a um grande número de programas de Pós-Graduação Interunidades na Universidade de São Paulo e em outras Universidades importantes do país (FREITAS; AMBRIZZI, 2012).

Podemos ver um aumento expressivo do número de bolsas concedidas pela FAPESP no mesmo período. No gráfico abaixo, a palavra-chave “mudanças climáticas” aparece na categoria “bolsas” de forma consecutiva desde 2001, data de publicação do AR3 e aumenta consideravelmente a partir de 2008, ano seguinte da publicação do AR4, quando também aumentam os auxílios à pesquisa. Cabe ressaltar que o AR4 fez com que o IPCC fosse agraciado com o prêmio Nobel, junto com o ex-vice-presidente norte-americano, Al Gore.

Figura 8 - Evolução do número de bolsas e auxílios à pesquisas financiados pela FAPESP no tema “mudanças climáticas” (Fonte: FAPESP).⁷⁰

⁷⁰ Dados obtidos em busca realizada em julho de 2013 na Biblioteca Virtual da FAPESP, utilizando a palavra-chave “mudanças climáticas”: <http://bv.fapesp.br/pt/metapesquisa/?q=mudan%C3%A7as+clim%C3%A1ticas&index=>

O aumento do investimento estadual e federal em pesquisas de mudanças climáticas também pode ser explicado criação de inúmeras redes de pesquisa com financiamento público a partir de 2007, a rede CLIMA, o Instituto Nacional de Mudanças Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia para Mudanças Climáticas (INCT-MC), o Programa FAPESP de Pesquisas em Mudanças Climáticas Globais (PFPMCG), Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMCI) e o Núcleo de Apoio à Pesquisa sobre Mudanças Climáticas da Universidade de São Paulo (INCLINE-USP).

Isso mostra uma mudança substancial da inserção do governo brasileiro, por meio de suas agências financiadoras e de órgãos especializados, na formação de uma ciência ambiental e climática no Brasil. A ampliação das redes de pesquisa dos grupos mapeados neste projeto de maneira está intimamente relacionada à mudança recente e substancial das posições dos setores governamentais, tanto federais, como estaduais, em relação ao fenômeno e às pesquisas científicas relacionadas.

A Política Nacional sobre Mudança do Clima e o Plano Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC) liderado pelo MMA no âmbito da Comissão Interministerial do Clima (CIM) foram formulados em 2008 pelo governo federal, durante a presidência de Luís Inácio Lula da Silva e estipularam, além dos investimentos em políticas públicas, como mencionados acima, uma contrapartida em aumento de investimentos em pesquisa e capacitação da ciência brasileira, incluindo em tecnologia, e o aumento das parcerias institucionais entre ministérios e os institutos de pesquisa e universidades.

A comunidade científica brasileira de pesquisas em mudanças climáticas já estava se mobilizando desde o ano anterior, quando, em março de 2007, a Academia Brasileira de Ciências (ABC), o Programa Internacional da Geosfera-Biosfera (IGBP) e o Inpe realizaram o 1º Simpósio Brasileiro de Mudanças Ambientais Globais na cidade do Rio de Janeiro. Neste simpósio foram apresentadas as pesquisas científicas brasileiras sobre as mudanças ambientais, inclusive as mudanças climáticas de origem antropogênica, à sociedade civil, aos representantes dos setores acadêmicos, governamentais e empresariais. O evento mobilizou os formuladores de políticas públicas e teve como consequência direta a criação de uma política institucional voltada à criação e ao fortalecimento de redes de pesquisas de mudanças climáticas, envolvendo universidades e institutos de

pesquisa em todo o território nacional, por meio de financiamento público intenso do governo federal e do governo estadual paulista (FAPESP, 2007).

A rede CLIMA, do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) foi criada em 2007 como “uma rede permanente (...) que tem como objetivo principal gerar e disseminar conhecimentos para que o Brasil possa responder aos desafios representados pelas causas e efeitos das mudanças climáticas globais” (FAPESP, 2013). O Conselho Diretor da Rede CLIMA é presidido por Carlos Nobre. Das treze sub-redes temáticas, cobrindo aspectos diversos e interdisciplinares do conhecimento científico, uma delas, sobre a modelagem climática, faz parte da rede mapeada por este projeto⁷¹, e é coordenada por Antonio Nobre, pesquisador do Inpe em Cachoeira Paulista⁷².

Em 2008, foi criado o Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia para Mudanças Climáticas (INCT-MC) por meio de edital do CNPq e com vigência até janeiro de 2014. É sediado no Inpe em São José dos Campos e possui vinte e seis subprojetos de pesquisa. De caráter interdisciplinar, um de seus objetivos principais é melhorar a compreensão da dinâmica de funcionamento da atmosfera, dos oceanos e dos continentes, o que passou a ser chamado de “Sistema Terrestre”, do qual trataremos mais tarde neste capítulo⁷³.

Por parte do governo estadual paulista, em 2008, a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) lançou o Programa FAPESP de Pesquisas em Mudanças Climáticas Globais (PFPMCG) para apoiar financeiramente e estruturalmente as pesquisas relativas ao tema no Estado de São Paulo. O programa lançou duas chamadas para submissão de projetos. A primeira em 2008 aprovou onze projetos temáticos, sendo seis deles na USP e um no Inpe⁷⁴. Um dos projetos aprovados na USP é de autoria do professor titular Paulo Artaxo do

⁷¹ As outras doze sub-redes das Rede CLIMA cobrem os seguintes temas: biodiversidade e ecossistemas, recursos hídricos, agricultura, saúde humana, cidades, zonas costeiras, oceanos, desastres naturais, serviços ambientais dos ecossistemas, energias renováveis, economia, e desenvolvimento regional. Elas envolvem pesquisadores em institutos de pesquisa e universidades espalhados pelo Brasil.

⁷² Todos os dados sobre a Rede Clima foram obtidos na página oficial do programa <http://redeclima.ccst.inpe.br/> (acesso realizado em diversos momentos de 2013 e 2014).

⁷³ Todos os dados sobre o INCT-MC foram obtidos na página oficial do Instituto <http://inct.ccst.inpe.br/> (acesso realizado em diversos momentos de 2013 e 2014).

⁷⁴ Todos os dados sobre o PFPMCG foram obtidos na página oficial do programa <http://www.fapesp.br/mcg/> (acesso realizado em diversos momentos de 2013 e 2014).

Instituto de Física, Departamento de Física Atmosférica, e faz parte da rede mapeada por este projeto.

Neste mesmo ano, em conjunto com o Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), o MMA convocou a criação do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC), com sede no Rio de Janeiro, e que funciona como uma resposta brasileira à dinâmica do IPCC: reúne cientistas de todo o país para revisar a literatura científica e escrever relatórios de interesse público e governamental – mantendo a divisão entre os Grupos de Trabalho do IPCC. A maioria dos cientistas que entrevistei fazem parte da autoria ou da revisão de algum dos relatórios do PBMC.

A USP aprovou a criação de um Núcleo de Apoio à Pesquisa sobre Mudanças Climáticas, fundado em março de 2012 e batizado de INCLINE, sigla em inglês para Centro Interdisciplinar de Investigação do Clima, com 16 subprojetos multidisciplinares, sendo um deles de “detecção, atribuição e variabilidade natural do clima”, coordenado pelo Prof. Titular Tércio Ambrizzi, e trinta e três projetos de pesquisa de diferentes áreas submetidos e aprovados e em execução e com um total de recursos obtidos de aproximadamente R\$ 65 milhões de reais no conjunto⁷⁵.

As redes científicas promovidas pelo poder público têm como objetivo investir na melhoria dos estudos científicos, para contribuir para a formulação de políticas públicas e estratégias de adaptação e mitigação, além de fornecerem subsídios para a delegação brasileira em fóruns intergovernamentais. Como afirma uma nota escrita pela Agência FAPESP, responsável pela divulgação científica da pesquisa financiada por esta agência de fomento:

O INCT-MC, o PFFPMCG e a Rede CLIMA têm envolvido um grande número de grupos de pesquisa de instituições e universidades brasileiras e estrangeiras, com cerca de 2.000 participantes. Representam um ambicioso empreendimento científico criado pelo governo federal e do Estado de São Paulo para prover informações de alta qualidade em estudos de clima, detecção de variabilidade climática (VC) e

⁷⁵ Todos os dados sobre o INCLINE foram obtidos na página oficial do Instituto <http://incline.iag.usp.br/> (acesso realizado em diversos momentos de 2013 e 2014).

mudança climática (MC), e seus impactos em setores chaves do Brasil, utilizando o que há de mais avançado em técnicas de observações e de modelagem das diferentes componentes do sistema climático global. Todos esses estudos são relevantes para ajudar o Brasil a cumprir os objetivos do seu Plano Nacional sobre Mudança do Clima, e também de informar os cientistas, os responsáveis pelas políticas públicas, os meios de comunicação e o público em geral, sobre estratégias de adaptação, estudos de vulnerabilidade e para propor medidas de mitigação. As pesquisas desses três programas têm produzido resultados interessantes, tendo fornecido subsídios científicos para a participação brasileira nas COPs recentes e na Conferência Rio+20 (FAPESP, 2013).

Como podemos perceber pela nota divulgada pela FAPESP, é nítido o projeto de sociedade que está mobilizado nos discursos e nas políticas de financiamento do governo. A ciência das mudanças climáticas não está baseado na ideia purificada de ampliação de conhecimento por si só, mas está vinculada inteiramente a metas nacionais; estudos de impacto; relatórios de emissão; políticas públicas e estratégias de adaptação e mitigação; e no papel desempenhado entre cientistas e diplomatas em fóruns políticos.

Ao mapearmos estas redes de pesquisa, por meio da consulta de suas páginas virtuais⁷⁶, seus principais projetos aprovados, em andamento ou concluídos, foi encontrado um seleto grupo de pesquisadores seniores e professores titulares que coordenam tanto essas redes, como os principais grupos de pesquisa e projetos temáticos na Universidade de São Paulo e no Inpe, além de outras universidades. Eles também coordenam, escrevem e revisam capítulos do relatório nacional de mudanças climáticas, produzidos no âmbito do PBMC e organizaram os principais eventos científicos de mudanças climáticas no Brasil – como a 1ª Conferência Nacional de Mudanças Climáticas (CONCLIMA), em setembro de 2013. A eles boa parte dos investimentos públicos foi dedicado, por meio de projetos de pesquisa, bolsas e compra de supercomputadores e eles que concedem a maior parte das entrevistas à imprensa nacional⁷⁷. São eles, nomeadamente, Paulo Artaxo (IF/USP),

⁷⁶ <http://redeclima.ccst.inpe.br/>; <http://inct.ccst.inpe.br/>; www.fapesp.br/pfpmcg/; www.pbmc.coppe.ufrj.br/; <http://incline.iag.usp.br/>.

⁷⁷ Ver, por exemplo, as seguintes reportagens, artigos e entrevistas na imprensa (Folha de São Paulo, O Estado de São Paulo, Ciência Hoje, Revista Piauí, Agência USP de Notícias):

Carlos Nobre (MCTI), Paulo Nobre (Inpe), José Marengo (Inpe) e Tércio Ambrizzi (IAG/USP)⁷⁸.

O mapeamento destas redes permitiu que fosse realizado contatos com alguns dos coordenadores destas redes, assim como os pesquisadores associados ao projetos temáticos. Como vimos na Introdução, de todos os grupos desta redes de pesquisa, dois foram abertos à minha pesquisa, aceitando me receber e conceder entrevistas durante o final de 2012, o ano de 2013 e o início de 2014.

Os pesquisadores apontaram em nossas entrevistas, quando indagados sobre as origens históricas de suas pesquisas, os anos de aumento substancial de investimento público na ciência climática brasileira. Michel, um dos coordenadores destas redes, membro do PFPMCG, do INCLINE e do PBMC mencionou a mudança, destacando o papel do governo:

Michel: O governo ganhou um papel de destaque. Há muito dinheiro para pesquisa desde a era Lula. Houve um aumento grande de investimento. As pesquisas tiveram um aumento de produtividade, mas ainda falta qualidade.

O clima tem entrado na agenda política. Devido aos cortes de emissões que os países devem realizar para mitigar as mudanças climáticas. No Brasil, [o ex-presidente] Lula cortou o desmatamento com metas voluntárias. O clima se tornou um palco de debate entre as políticas de desenvolvimento e de sustentabilidade (...).

AMBRIZZI; ARTAXO, 2012; BALAZINA, 2011; CAMARA, 2011; ESTEVES, 2010a, 2010b, 2011; KUGLER, 2012; LOPES, 2010; MEDEIROS, 2010; NOBRE, 2003; OLIVEIRA, 2012.

⁷⁸ A 1ª Conferência Nacional de Mudanças Climáticas, que pude etnografar, realizada em setembro de 2013 em São Paulo reuniu todos os diversos grupos de pesquisa de todas as regiões do Brasil envolvidos na produção de pesquisa em mudanças climáticas desde 2007, com a fundação das redes nomeadas acima e apresentou os principais resultados das pesquisas de cada um dos grupos envolvidos nas redes. A Conferência foi organizada pelos principais coordenadores dos grupos, os cinco pesquisadores mencionados acima, chamados por Eduardo Assad, da EMBRAPA em Campinas, durante sua exposição na CONCLIMA de “os cavaleiros do apocalipse”, incluindo-se nesse grupo, ironizando o fato de que muitas pessoas assumem as pesquisas deste grupo representativo de cientistas como um prenúncio do fim do mundo, embora ele, na mesma fala, tenha dito que: “queria deixar bem claro que o mundo não vai acabar”.

Ivan, pesquisador associado, participante do PBMC e membro integrante de dois grupos de pesquisa, um sediado na USP, no âmbito do PFPMCG e do INCLINE e outro no Inpe, no âmbito do INCT-MC, da Rede CLIMA e do PFPMCG, me disse que os investimentos brasileiros em pesquisa sobre mudanças climáticas “mudaram da água para o vinho a partir de 2008”. Ele cita especialmente a compra do supercomputador Tupã pela FAPESP e pelo MCTI, e instalado em Cachoeira Paulista, como uma das principais medidas de apoio. Ele diz que o governo e a mídia começaram a procurar os pesquisadores intensivamente após 2008, para entrevistas e a escrita e revisão de relatórios encomendados pelos Ministérios.⁷⁹

A criação das redes de pesquisa resultou, para Ivan, na situação atual em que “não há mais problemas em aprovar projetos”. O principal problema atualmente, para ele, deixou de ser o investimento em infraestrutura de pesquisa, mas continua sendo a falta de pessoas interessadas em seguirem a carreira científica no Brasil, onde “não há gente suficiente para ser especialista”, devido à falta de investimento em salários e bolsas.

Escolhemos ambos estes grupos de pesquisa por seu uso e desenvolvimento de modelos de modelos numéricos de mudanças climáticas. Enquanto o grupo de pesquisadores associados a Michel faz uso de modelos importados do exterior, Ivan faz parte de um grupo maior envolvido na criação de componentes de um modelo climático desenvolvido inteiramente no Brasil. Os modelos são um dos principais focos destas redes, envolvendo amplo financiamento público em tecnologia, infraestrutura, ciência e formação de pesquisadores. O fortalecimento da associação entre política e ciência no Brasil resultou na ampliação da rede sociotécnica responsável por modelagem climática – que, conforme apontado por autores que estudam o surgimento do IPCC, tornou-se o nódulo central das redes de mudanças climáticas.

⁷⁹ Entrevista concedida em 04/12/12.

3.6.2 Modelos climáticos no Brasil

De acordo com as entrevistas com membros destes dois grupos de pesquisa, assim como falas públicas destes pesquisadores em eventos como um *workshop* promovido pela FAPESP no início de 2013 e nas publicações institucionais escritas ou audiovisuais das redes de pesquisa mencionadas acima, os cientistas brasileiros passaram a trabalhar com modelos globais meteorológicos importados do exterior na década de 1970, após a fundação do CPTEC (Centro de Previsão de Tempo e Estudos do Clima) do Inpe. O primeiro modelo brasileiro foi desenvolvido a partir de um modelo da atmosfera do instituto de pesquisa COLA (Centro de Estudos do Oceano-Terra-Atmosfera - *Center for Ocean-Land-Atmosphere Studies*) em Maryland nos Estados Unidos.

Ao serem importados para o Brasil, os modelos não incluíam processos físicos específicos da América do Sul. Entre os processos sul-americanos não contemplados estão: a floresta amazônica, maior floresta úmida do planeta, o rio Amazonas, com sua enorme descarga de água doce no oceano Atlântico equatorial; a região do Pantanal, maior área alagada do mundo; as enormes emissões de aerossóis e gases pelo fogo natural nas florestas e no Cerrado; as diferenças entre o período seco e o período úmido nos biomas sul-americanos e suas influências nas dinâmicas atmosféricas; o regime de chuvas nos trópicos; a relação entre o oceano Atlântico Sul, pouco estudo pela ciência do clima no mundo, e o continente sul-americano; a Antártida; questões humanas, como as metrópoles sul-americanas e a mudança do uso do solo pelo avanço do agronegócio e o desflorestamento em massa das florestas tropicais e das savanas destes territórios.

Tais processos apresentam desafios para os modelos desenvolvidos em locais em que essas dinâmicas não existem – nomeadamente os Estados Unidos e a Europa Ocidental, onde concentram-se os principais institutos de pesquisa em mudanças climáticas e modelagem climática. Os desafios estimularam a produção de conhecimento regional e houve um interesse nas últimas décadas por parte dos pesquisadores e recentemente dos formuladores de políticas públicas em desenvolver modelos regionais que descrevessem as especificidades do território brasileiro. Os modelos regionais de tempo e de clima da América do sul começaram

a ser desenvolvidos aqui nas últimas duas décadas ou a serem importados, mas modificados aqui.

O professor Michel me relatou que, nos anos 1990, a capacidade computacional era muito menor do que a que estamos acostumados hoje no Brasil. O Brasil demorou para entrar na era da supercomputação, necessária para rodar modelos complexos do sistema global em tempo hábil para uma pesquisa, porque apenas nos anos 1990 o governo federal assinou o tratado de não-proliferação de armas nucleares e pôs fim aos testes que estava realizando na Serra do Cachimbo. Com ratificação do tratado, o país teve acesso ao mercado de supercomputadores – proibido a países que não fazem parte do tratado por permitir o desenvolvimento rápido de armas nucleares. Empresas estrangeiras como SAN, Cray, Hitachi e IBM passaram a entrar no país.

Não havia um modelo global do clima feito no Brasil até recentemente – os pesquisadores importam modelos globais desenvolvidos em instituições parceiras no Reino Unido, como o Hadley Center, e o NOAA, nos Estados Unidos, em que os códigos dos modelos são públicos e abertos para a utilização por qualquer que saiba operá-los. A partir de meados dos anos 2000, com a ampliação dos financiamentos e das redes de pesquisa, foi possível pensar num desenvolvimento de um modelo global próprio brasileiro. Como veremos no próximo capítulo, meus informantes, Catarina, Gustavo, Michel e Ivan utilizam e desenvolvem modelos importados e nacionais.

Em um *workshop* promovido pela FAPESP em fevereiro de 2013 sobre o chamado modelo brasileiro de mudanças climáticas (BESM), Carlos Nobre, pesquisador do Inpe e secretário do MCTI, e Carlos Henrique de Brito Cruz, diretor científico da FAPESP, reportaram sua ida a Barcelona para conhecer um supercomputador desenvolvido para a modelagem climática, com o intuito de comprar uma máquina para dar suporte aos estudos ambientais brasileiros. Eles afirmam que a criação de um modelo global brasileiro, não seria “para reinventar a roda”, mas para investigar o desenvolvimento de trabalhos feitos no Brasil com ênfase em preocupações e questões locais, mas de forma a simular o clima global. Atualmente somente Estados Unidos, União Europeia, Japão e Austrália desenvolvem modelos climáticos globais próprios.

Carlos Nobre, durante o workshop, disse que a comunidade científica da Austrália, por exemplo, buscou agregar dados a um modelo já pronto, trazido do Hadley Center no Reino Unido, ao invés de competir com eles. O Brasil poderia fazer o mesmo, mas a falta de pesquisadores especializados em número suficiente levou à decisão do Ministério e da FAPESP de construir um modelo nacional para o estudo do clima global com o intuito de “construir uma comunidade, uma rede de pesquisadores envolvidas na modelagem e propiciar o desenvolvimento dessa comunidade”.

A falta de recursos humanos é apontada como um entrave à ciência brasileira. O professor Ivan compara a situação do Modelo Brasileiro com o modelo desenvolvido no Hadley Center, no Reino Unido. O modelo brasileiro tem as três componentes físicas do modelo, o sistema atmosférico, o sistema oceânico e o sistema biológico, de processos de superfície, produzidas por volta de vinte pesquisadores, que também fazem sua validação, diferente do modelo inglês, que é produzido e validado por grupos diferentes de pessoas e há trinta pessoas apenas para a validação.

Mobilizando diversas redes de pesquisa em âmbito universitário, estadual e federal, fazendo parte de painéis nacionais e internacionais de debate sobre pesquisa, adaptação e mitigação, os cientistas brasileiros conquistaram o interesse governamental para financiar o desenvolvimento institucional de um modelo global brasileiro. A segunda chamada de financiamento de pesquisa do PFPMCG da Fapesp, lançado em 2009, e selecionou o projeto encabeçado por Carlos Nobre da criação e desenvolvimento do chamado BESM (*Brazilian Earth System Model*), ou Modelo Brasileiro do Sistema Terrestre (Projeto FAPESP 2009/50528-6, vigência entre 2011 e 2015). Uma nova rede foi formada reunindo pesquisadores de diversas instituições ligadas à Rede Clima e ao INCT-MC e incluindo pesquisadores do Inpe e da USP. Um dos subprojetos da Rede Clima, coordenado por Paulo Nobre, do Inpe em Cachoeira Paulista, trata especificamente do modelo brasileiro.

Paulo Nobre afirma que o problema de se importar um modelo pronto de fora é que isso é só aparentemente mais simples do que criar um modelo novo. Se alguma componente do modelo é alterada para incluir alguma especificidade produzida por um grupo de pesquisa, perde-se o controle sobre o funcionamento da totalidade do sistema, pois é necessário um conhecimento integral de cada uma das partes para

poder modificar algo. Como ele diz, em entrevista gravada para o website da Rede Clima⁸⁰:

Esses vários modelos [atmosférico, oceânico, da química atmosférica] são como partes de um motor que se engrenam. E o produto de um afeta o outro e forma o a gente chama de um modelo acoplado ou um modelo do sistema terrestre.

(...) Ao invés de importarmos modelos completos, já disponíveis por outros países, é que, desta forma, nós temos um conhecimento integral de como funcionam as partes, então nós podemos modificá-las. Nós podemos incluir um modelo de fogo, em cerrado ou em floresta, que foi desenvolvido no Brasil. Nós podemos estudar o efeito das queimadas no clima.

Quando nós temos um modelo que chega pronto, ele é muito complexo para nós modificarmos. Você modifica uma parte do modelo, a outra parte responde, de repente, você vê e não sabe mais o que está acontecendo.

Nós tomamos a estratégia de desenvolver o modelo parte a parte, compreendendo o que cada modelo faz, e como ele faz, para que nós possamos modificá-lo, e aí incluir o efeito da Floresta Amazônica, o efeito do fogo no Cerrado, a descarga do rio Amazonas na circulação no oceano Atlântico. Então essa foi a estratégia adotada para nós dotarmos o Brasil da capacidade de estudar as mudanças climáticas e os impactos das mudanças climática na ocorrência de eventos extremos.

O desenvolvimento do modelo brasileiro, de plataforma aberta, envolveu a união das redes de pesquisa mencionadas anteriormente: a Rede Clima, o INCT-MC, ambos do MCTI, e o PFPMCG, da FAPESP. Para rodar programas que suportam a quantidade expressiva de dados gerados por simulações climáticas, o supercomputador, batizado de Tupã, produzido pela empresa norte-americana Cray, foi comprado ao preço de R\$ 50 milhões, sendo R\$ 15 milhões de financiamento direto da FAPESP e o restante do MCTI. Ele é capaz de realizar 224 trilhões de operações por segundo, cinquenta vezes mais rápido do que os computadores do

⁸⁰ Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=FEUYW5jo1Bc>, publicado originalmente em 15 de junho de 2012 e acesso em fevereiro de 2013.

Inpe, local onde foi montado em 2010 no campus de Cachoeira Paulista (FIORAVANTI, Revista Pesquisa FAPESP, 2010).

O interesse pela criação de um modelo brasileiro do sistema global, segundo Carlos Nobre, não é o de estimular a competição, mas um esforço comunitário, para que seja usado pela rede de pesquisadores e estimule a formação de novos pesquisadores. Paulo Nobre afirma que ele não deve ser um mero exercício, mas um instrumento a ser utilizado por múltiplas frentes e áreas. Um modelo climático global brasileiro vai oferecer uma nova narrativa científica local de encarar o futuro. Ele vai dotar a comunidade científica brasileira de formas mais complexas de estudar as mudanças climáticas, os cenários futuros e os impactos decorrentes.

Antes de nos determos na análise do material reunido pelo mapeamento e as entrevistas com os informantes, passaremos a uma revisão bibliográfica crítica dos autores de ciências sociais envolvidos em estudos etnográficos de modelagem climática. Os modelos climáticos tornaram-se centrais às narrativas de futuro das mudanças climáticas e às redes tecnocientíficas que estudam as mudanças do clima, devido à demanda de financiamentos milionários, investimento em ciência e tecnologia e formação institucional e política (DEMERITT, 2001; HULME, 2009). Os modelos climáticos tornaram-se, portanto, núcleos centrais destas redes socio-técnicas.

3.7 ANÁLISES SOCIAIS DOS MODELOS CLIMÁTICOS

Um conjunto de sociólogos e antropólogos dos Estados Unidos e Europa se dedicaram desde os anos 1990 a estudar teorias e práticas dos modelos climáticos. Shackley et al. (1998), em seu estudo sobre a teoria da modelagem climática nos Estados Unidos, afirmam que o papel central adquirido pelos Modelos de Circulação Geral (GCMs), no jargão científico, não se deve somente a causas científicas, de método, e a constante busca por melhores paradigmas, mas também a julgamentos políticos e sociais, partes das redes de ciência e sociedade arregimentada em torno dos próprios modelos. A capacidade do modelo de criar redes, integrando política climática e diversas áreas de pesquisa científica, além da

própria área da modelagem climática, é tão responsável para explicar o avanço de sua importância quanto critérios racionalistas e exclusivamente científicos.

Em suas palavras, “(...) GCMs podem ser vistos como instrumentos críticos, pelos quais agendas políticas que almejam o controle e a gestão da mudança climática global são construídas e sustentadas”⁸¹ (1998, p. 193).

A força de um modelo, para estes autores, além de produzir ciência e conteúdo científico (na forma de cenários climáticos e simulações do futuro) é também a de produzir uma rede social envolvendo desenvolvedores e usuários de modelos, formuladores de políticas públicas e de pesquisas envolvidas nos problemas da adaptação e mitigação das mudanças climáticas e que não trabalham diretamente com modelos climáticos, apenas com seus produtos. Eles afirmam:

Uma compreensão mais sociológica do papel dos GCMs é apontar aos caminhos pelos quais eles ligam um conjunto diverso de ciências e políticas, no presente e potencialmente no futuro. A sugestão aqui é que quanto mais extensas forem as conexões entre GCMs e outras questões científicas e políticas, maior será o apoio implicitamente dado aos GCMs.

*(...) O resultado final pode ser GCMs tornando-se emaranhados em uma rede que constitui um conjunto poderoso e resiliente de relações*⁸² (SHACKLEY et al., 1998, p. 186).

Em seguida, os autores apresentam a seguinte imagem para definir a rede sociológica dos modelos como produtos e produtores sociais de conhecimento:

⁸¹ No original: “GCMs can be seen as critical instruments by which policy agendas aimed at the control and management of global climate change are shaped and sustained”.

⁸² No original: “A more sociological understanding of the role of GCMs, is to point out the way in which they link-up a diverse range of sciences and policies, both now and potentially in the future. The suggestion here is that the more extensive are the links between GCMs and other sciences and policy issues, then the more support is implicitly being provided to GCMs. (...) The end-result may be that GCMs become enmeshed in a network which constitutes a powerful and resilient set of relationships (...)”.

Figura 9 in: SHACKLEY et al. (1998) p. 187

Como podemos ver, para estes sociólogos da ciência, os modelos climáticos são nódulos centrais que mobilizam vínculos entre interesses da comunidade de políticas públicas (*Policy Community*), da comunidade de pesquisa sobre impactos climáticos (*Climate Impacts Community*), e das ciências adjacentes, que desenvolvem e avaliam os modelos. Como vemos na figura acima, para Shackley et al., cada comunidade troca interesses com os centros de produção de modelos climáticos. Enquanto formuladores de políticas desejam simulações para suas projeções para as políticas e longo prazo, cientistas que estudam impactos climáticos desejam simulações regionais para suas pesquisas especializadas e modelistas têm interesse nas avaliações dos modelos feitas por ambos os grupos. Em troca, eles permitem que modelos e suas simulações sejam possíveis, necessários e portanto produzidos.

É por meio de modelos, vistos aqui como “conhecimento”, que grupos díspares de especialistas tecnocientíficos e formuladores de políticas públicas e tomadores de decisão fazem parte de uma mesma rede sociotécnica de mudanças climáticas.

A antropóloga Myanna Lahsen, estabelecida nos Estados Unidos e mais tarde no Brasil, também narra as diferentes maneiras pelas quais a ciência climática e a política se relacionam se interessam e se afastam (2009a). Em um estudo bastante conhecido (2005), inclusive mencionado por meus interlocutores das ciências naturais, detém-se com bastante cuidado em uma descrição das comunidades

epistêmicas de climatologistas, físicos e meteorologistas e encontra a existência de diferentes culturas que permeiam as teorias e práticas dos modelos climáticos. Partindo de outros estudos dos *science studies*, Lahsen encontra grupos dentro desta comunidade: os desenvolvedores, os usuários e os críticos de GCMs. Eles muitas vezes fazem parte de “mundos sociais distintos”, outras vezes são partes de “redes sociais sobrepostas”, definidos por normais culturais e orientações científicas diferentes.

De acordo com a autora, pesquisadores destes diferentes grupos estão envolvidos em investimentos profissionais e emocionais que adicionam graus de complexidade à sua produção, ao seu uso e à sua crítica dos modelos climáticos. A autora mostra que, para além de apenas método, eficácias e evidências científicas, fatores como a alienação, ambivalência, emoções, identidades, elementos culturais e sociais desempenham papel importante na formação dos grupos – que se distinguem pela defesa ou crítica aos modelos. Ela também mostra como há diferentes graus de aproximação e semelhança entre estes grupos.

A socióloga sueca Mikaela Sundberg (2007a, 2007b, 2009), em suas pesquisas entres cientistas suecos envolvidos em pesquisas atmosféricas e climáticas, também explora a formação dos diferentes grupos, assim como suas identidades e papéis, resultantes de constantes negociações e traduções que constituem a prática cotidiana da ciência. Tradução, para Sundberg, assim como para Callon (1986) e Latour (1983), se refere ao trabalho de mobilizar interesses, tornando equivalentes interesses e objetos não-equivalentes.

A tradução é o trabalho que une diferentes grupos envolvidos em uma pesquisa, com interesses, instrumentos e termos de pesquisa distintos, mas que se enredam em torno do desenvolvimento dos modelos climáticos (SUNDBERG 2007b, 2009). Externamente à ciência, a tradução é responsável por tornar interesses distintos de cientistas e agências de financiamento equivalentes, em torno da atual relevância da chamada “pesquisa climática”– com fortes implicações para quais projetos são financiados, e como os pesquisadores devem formular seus pedidos de financiamento para se adequarem a essa nova voga (2007a). Associações e conflitos decorrem destas traduções, e os objetos científicos (equações, dados, instrumentos e palavras-chaves) agem como conectores destas redes.

Mike Hulme et al. (2009) e Hulme (2011) consideram a modelagem computacional como a *prática central* para a avaliação das alegações de verdade para a comunidade epistêmica de especialistas em mudanças climáticas globais. Eles dão ao fator da *predição do futuro no longo prazo* um papel central para o avanço deste modelo de ciência, frente aos demais modelos alternativos.

O clima agora era visto como o resultado do funcionamento de um sistema global biogeofísico interconectado, cujo comportamento no passado, presente e futuro poderia ser modelado – e desta forma, “previsto” – usando equações matemáticas e tecnologia computacional avançada. Isso marcou uma ruptura distintiva de concepções mais variadas do clima usadas por geógrafos, climatologistas e meteorologistas sinópticos anteriormente no século XX⁸³ (HULME, 2011, p. 258).

Shackley et al. (1998) também afirmam que a consolidação dos chamados GCMs resultou na posição minoritária de abordagens alternativas. Para os autores, os cenários e previsões do longo prazo criam uma rede de trocas e reforços mútuos entre ciência, em torno da produção, desenvolvimento e uso de modelos climáticos, e a política, em torno das discussões dos enfrentamentos aos riscos futuros – rede que explica seu sucesso em detrimento de outras abordagens científicas minoritárias.

(...) GCMs (em contraposição a outros modelos ou outros métodos) passam a agir como uma espécie de moeda comum entre grupos de cientistas e formuladores de políticas – cada qual considera que há algo a se ganhar em termos intelectuais, científicos, financeiros e sociais – ao se envolverem em seu desenvolvimento e uso – e que este atributo compartilhado⁸⁴ serve como uma maneira de

⁸³ No original: “Climate was now viewed as the outcome of the functioning of an interconnected biogeophysical global system whose past, present, and future behavior could be modeled—and hence “predicted”—using mathematical equations and advanced computing technology. This marked a distinct break from the more varied conceptions of climate used by geographers, climatologists, and synoptic meteorologists earlier in the twentieth century”.

⁸⁴ *Commonality*, no original.

*conectar tais grupos em coalizões soltas. Logo, GCMs passam a ter um significado simbólico mais amplo do que aquele subentendido apenas por suas credenciais científicas*⁸⁵ (SHACKLEY et al., 1998, pp. 186–188 grifos dos autores).

Previsão é um tipo de conhecimento que pressupõe determinismo – causas conhecidas levam a efeitos previstos. O tipo de conhecimento determinista propagado pelos modelos climáticos e seus cenários simulados do futuro convergem com os propósitos das políticas de gerenciamento de riscos ambientais futuros. Ciência e política passam a compartilhá-los e convergem em alianças para problematizá-los e enfrentá-los.

Como vimos no segundo capítulo, sobre o surgimento das redes de previsão meteorológicas: **conhecer**, **prever** e **poder** foram interligados por estas redes sociotécnicas. Narrativas de riscos futuros são deslocados para o presente, na medida em que servem para o gerenciamento político de pessoas e coisas, modificando o comportamento e a ação dos atores de forma a combater estes riscos. A incerteza inerente ao futuro é transformada pelo determinismo científico das previsões e o gerenciamento político do combate aos riscos em certeza e ação (TADDEI, 2013).

Tal modelo de ciência se opõe a outros tipos de prática e produção científica que, por exemplo, problematizam as causas e os efeitos do clima futuro simulado como ponto de partida de pesquisa, questionando qualquer previsibilidade a longo prazo, devido ou aos padrões caóticos do sistema ou às incertezas inerentes às ferramentas de simulação (SHACKLEY et al., 1998, pp. 192–193).

As simulações e cenários futuros também se tornaram compromissos compartilhados entre modelistas e todos os cientistas de outras áreas que utilizam os resultados para discutir impactos e adaptação das mudanças climáticas em suas

⁸⁵ No original: “GCMs (contra other models or methods) come to act as a sort of *common currency* between groups of scientists and policy makers – each considers they have something to gain in intellectual, scientific, funding and social terms – from being involved in their development and use – and that this commonality serves as a way of linking-up such groups into loose coalitions. Hence, GCMs come to have a wider symbolic significance than implied by their scientific credentials alone”.

respectivas áreas de pesquisa⁸⁶ e aqueles cientistas que estudam processos naturais que são incluídos e descritos pelos modelos.

De acordo com o repertório utilizado por Bruno Latour e Michel Callon, ao longo de suas obras, podemos chamar os modelos climáticos de *pontos de passagem obrigatórios*, depois de terem mobilizado diversos ramos da política e da ciência ambiental a considerar os resultados dos modelos para debater *riscos futuros*. Segundo Latour, a ciência é uma das ferramentas mais eficazes para convencer outros do que eles querem (1983, p. 144). Sundberg (2007a) parece concordar, quando afirma que há a estabilização e o estabelecimento da modelagem climática como um *ponto de passagem obrigatório* para os diferentes grupos envolvidos em pesquisas de mudanças climáticas. Segundo a socióloga sueca, os modelos climáticos se tornaram pontos de controle (*gatekeeper*) para alegações de mudanças climáticas, inclusive em áreas da ciência ambiental fora da modelagem climática. Se tornaram princípios fundamentais de organização para a comunidade epistêmica global envolvida na questão das mudanças climáticas (SUNDBERG, 2007a, p. 474).

Consideramos que as obras dos pesquisadores mencionados acima foram essenciais para auxiliar a traçar questões envolvidas na produção de conhecimento na área das mudanças climáticas nesta pesquisa. Entretanto, eles baseiam-se majoritariamente, com exceção dos artigos de Mikaela Sundberg, em uma definição sociológica de ciência que leva em conta apenas cientistas e não-cientistas, ciência e sociedade, e não as associação entre humanos e não-humanos que compõem o trabalho cotidiano de qualquer rede tecnocientífica.

O historiador da ciência climática Paul Edwards (2010, pp. 436–438), leitor de Bruno Latour e Michel Callon, concorda com a crítica de que muitos dos autores dos *science studies* centraram-se demasiadamente do lado humano ou sociológico da análise sobre a produção científica e afirma que “construído socialmente”, na definição da ciência, deixou de significar “construído por pessoas a partir de materiais naturais” e passou a significar “negociado coletivamente por grupos sociais” e nada além. A materialidade foi excluída da análise, havendo espaço apenas para ideologias, pensamento de grupos e visões de mundo.

⁸⁶ Conforme mencionado na Introdução, seção A, e sobre os quais este presente trabalho não trata.

Como vimos na seção 1.2 deste trabalho, desde os anos 1970, a comunidade dos estudos sociais da ciência natural centrou-se fortemente em explicações do tipo que Latour posteriormente nomeou de *sociológicas*: uma ciência vista como produzida por humanos dentro e fora dos laboratórios e que critérios sociais, culturais ou institucionais são utilizados como explicação para seu poder (Latour, 2012). Esta literatura focou-se fortemente no repertório da *coprodução* científica e social, que tratam teorias, objetos e práticas científicas, como a modelagem climática, como sendo coproduzidos por fatos e atores científicos e sociais simultaneamente.

O debate entre formas “internalistas” ou “externalistas” de estudar a ciência pendem suas explicações sobre o sucesso de teorias e práticas científicas entre dois polos: elas seriam resultantes de dinâmicas sociais entre os pesquisadores – e os jogos de poder, capital social, paradigmas – ou de dinâmicas sociais entre os pesquisadores e o resto da sociedade – a mão invisível dos contextos sociais e culturais, das estruturas, ou das instituições (cf. LATOUR, 1983, pp. 142–143)

Para essas análises sociológicas, a narrativa da produção dos modelos mantém-se encerrada no como uma caixa-preta, em que desaparecem todas as máquinas, tecnologia, experimentações matemáticas, infraestrutura e programação, de que falam os cientistas em seus relatos, como veremos a seguir, desaparecem. Para esta rede apenas os seres humanos são contabilizados como agentes.

A seguir, exploraremos com cuidado as associações heterogêneas na prática científica de modelistas climáticos em São Paulo e algumas das formas como a ciência construiu os modelos climáticos como laboratórios, que permitiram, como no laboratório erigido por Pasteur (Latour, 1983), a construção de novas naturezas e sociedades.

4 A TECNOCIÊNCIA DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

4.1 MODELAGEM NO ESTUDO DE VARIABILIDADE E MUDANÇA DO CLIMA

Conforme anteriormente introduzido no início desta dissertação e na seção 3.6, dos grupos de pesquisa levantados pelo mapeamento das grandes redes científicas de mudanças climáticas na USP e no Inpe, nomeadamente Rede CLIMA, INCT-MC, PFPMCG, INCLINE e PBMC, dois grupos que trabalham com modelos climáticos numéricos mostraram-se particularmente abertos a meus contatos.

Um deles é coordenado pelo professor titular Michel, que, com apoio de diversos pesquisadores, formados em física, mas com especialização em ciências atmosféricas ou oceanografia, realiza análises de dados climáticos e simulações computacionais do clima no passado e no futuro para a região da América do Sul e do oceano Atlântico Sul com o uso de modelos estrangeiros importados para o Brasil, mas bastante modificados por eles, com financiamento das agências públicas de fomento à pesquisa. O outro conta com diversos coordenadores, incluindo Gustavo, pesquisador sênior, e com a presença de dezenas de pesquisadores da USP e do Inpe para desenvolver um modelo climático brasileiro (BESM) financiado pelo INCT-MC, PFPMCG e Rede CLIMA. Ivan é pesquisador de um dos grupos envolvidos nesta rede, dedicados a desenvolver alguns componentes deste modelo, como parametrizações.

Estes pesquisadores de grupos distintos concorrem por financiamentos e apoios, mas também são aliados – são coautores de relatórios do PBMC e artigos e relatório encomendados por órgãos do governo federal, coordenam as redes de mudanças climáticas conjuntamente e organizam eventos científicos nacionais sobre mudanças climáticas – como a CONCLIMA, a 1ª Conferência Nacional sobre Mudanças do Clima.

Iniciei minhas entrevistas no final de outubro de 2012, um período de extremos meteorológicos no estado de São Paulo⁸⁷. A cidade de São Paulo teve seu segundo recorde absoluto de temperatura máxima na série histórica da Estação Meteorológica da USP, localizada no bairro da Água Funda, com início das medições em 1932, na tarde de quarta-feira, dia 31 de outubro de 2012: 35,9°C (EM-IAG/USP, 2012, p. 9). Este dia foi o dia mais quente na cidade até então, e o terceiro mais quente na cidade de acordo com a série histórica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), de 1943 até junho de 2014, no Mirante de Santana, considerado a fonte de medições oficiais do município. Nesta estação meteorológica a temperatura medida foi de 36,6°C.

Coincidentemente, durante os últimos meses em que este trabalho era redigido, o estado de São Paulo foi atingido por uma estiagem histórica de grandes proporções e que secou os reservatórios de abastecimento de água das principais regiões metropolitanas⁸⁸. A Estação Meteorológica da USP registrou seu novo recorde de temperatura máxima, nos dias 03 de janeiro e 01º de fevereiro de 2014, 36,10C⁸⁹, assim como o segundo menor índice de chuvas para o verão (meses dezembro, janeiro e fevereiro) na cidade de São Paulo desde o início das medições, 55,5% do esperado para estes meses, de acordo com a média climatológica de 1933 a 2013⁹⁰.

Alguns eventos extremos de grandes proporções incitaram a realização de alguns estudos sobre mudanças climáticas por pesquisadores mapeados neste

⁸⁷ No dia anterior a este, terça-feira, dia 30 de outubro de 2012, a cidade de Ribeirão Preto, no interior do estado de São Paulo, onde nasci e cresci, registrou sua temperatura mais alta de toda a série histórica: 43,6°C.

⁸⁸ Diversas reportagens da mídia paulista foram publicadas, mas para uma matéria com entrevistas com professores do IAG/USP e que aborda a controvérsia sociotécnica da crise, entre falta de chuva, crise hídrica, crise política, incertezas científicas e de engenharia de abastecimento ver: <http://noticias.uol.com.br/meio-ambiente/ultimas-noticias/redacao/2014/05/16/seca-atual-em-sao-paulo-e-a-maior-em-45-anos-mostram-dados-da-usp.htm> (acesso em maio de 2014).

⁸⁹ Fonte: website da Estação Meteorológica do IAG/USP: <http://www.estacao.iag.usp.br/seasons/index.php> acesso em junho de 2014.

⁹⁰ Fonte: website da Estação Meteorológica do IAG/USP: <http://www.estacao.iag.usp.br/Boletins/DJF20132014.pdf> acesso em julho de 2014.

Este mesmo boletim trimestral indica o aumento constante do volume total de chuvas no período do verão na cidade de São Paulo desde o início das medições do EM-IAG-USP em 1933/1934, correspondente aos cenários dos modelos climáticos que indicam aumento da precipitação no verão para a região Sudeste do Brasil, devido às mudanças climáticas (MARENGO, 2006). Sobre estes cenários, ver o final deste capítulo e a conclusão.

projeto. A seca histórica de 2005 na Amazônia foi um dos eventos mais estudados por pesquisadores de mudanças climáticas do Inpe em conjunto com pesquisadores norte-americanos e europeus (MARENGO et al., 2008)⁹¹. Ela foi correlacionada à mudanças nos padrões de temperatura do oceano, assim como a temporada intensa de furacões na América Central, Caribe e Estados Unidos naquele mesmo ano – com a ocorrência do furacão Katrina, o mais devastador da história dos Estados Unidos até o momento. A seca foi responsável pelos menores índices históricos do nível de vazão de água de diversos rios da bacia amazônica até então, de acordo com este estudo.

Para estes pesquisadores, há probabilidade de eventos extremos como este se tornarem mais frequentes devido às perturbações de temperatura decorrentes do aumento das emissões antropogênicas de gases de efeito-estufa, a diminuição da poluição em países industrializados⁹² e o aumento da liberação de aerossóis pela queima de florestas (COX et al., 2008).

Ao mencionar estes eventos extremos em entrevistas, meus informantes procuraram indicar a incerteza inerente às associações entre qualquer evento singular (como a seca da Amazônia, os recordes de temperatura em São Paulo e o furacão Katrina ou o furacão Catarina, que atingiu a costa sul do Brasil) e as mudanças climáticas de origem antropogênica. Eventos singulares podem estar ligados à variabilidade, às alterações erráticas e caóticas na curta escala do tempo, de ordem meteorológica sazonal e não climática.

⁹¹ A seca histórica da Amazônia em 2005 e o trabalho conjunto de climatologistas brasileiros e estrangeiros resultou na publicação de artigos conjuntos, mencionados acima, e na realização de um evento científico em 2007 na Universidade de Oxford, no Reino Unido, sobre Mudanças Climáticas e o Destino da Amazônia (*Climate Change and the Fate of the Amazon*), em que foram as causas da seca, os potenciais de mitigação e adaptação frente às secas, políticas públicas e cenários de savanização futura da Amazônia (ver <http://www.eci.ox.ac.uk/news/events/070320presentations.php>).

⁹² Poluentes industriais, compostos de materiais particulados e aerossóis, principalmente derivados do enxofre, refletem radiação solar e contribuem para a diminuição da temperatura média global. De acordo com alguns estudos (COX et al., 2008), as políticas de saúde pública de controle dos níveis de poluentes nas cidades dos países da América do Norte e Europa Ocidental indiretamente contribuem para o aquecimento da temperatura média – o que nos mostra efeitos e consequências pouco controlados das atividades e políticas modernas.

Em entrevista com Michel, coordenador de um grupo de pesquisa que faz uso de modelos climáticos em São Paulo, tentei compreender como esses modelos computacionais que simulam o comportamento do clima indicam a associação entre esses eventos extremos e catastróficos e mudanças climáticas. Michel, como veremos, trabalhou durante a década de 2000 com modelos climáticos globais e regionais importados de universidades estrangeiras.

Andre: Como o resultado da simulação computacional do clima permite que vocês analisem ou interpretem a correlação entre o furacão Katrina, a seca na Amazônia e os recordes de temperatura em São Paulo e as mudanças climáticas?

Michel: (...) Um ciclone sozinho é muito difícil de você afirmar como um evento de mudança climática.

Pois temos o efeito do caos, a não-linearidade do sistema climática que faz dos fenômenos atmosféricos um conjunto variável e pouco estável. Os sistemas climáticos variam bastante, por isso eventos extremos podem acontecer, devido a fatores internos do próprio sistema.

“Variabilidade natural” e “mudança climática” são categorias que se inter-relacionam de maneira complexa nos estudos dos cientistas entrevistados ou mapeados por esta pesquisa.

O termo “variabilidade natural” se refere à variação sazonal, ou de períodos maiores, como anos e décadas, em que o clima e todos os seus fatores relacionados, atmosféricos, oceânicos e da biosfera, variam de forma pendular. Variar de forma pendular indica que ocorrem sucessivos períodos mais quentes ou mais frios, mais úmidos ou mais secos do que as médias calculadas pela comunidade internacional para os períodos de trinta anos, e divulgadas pela Organização Meteorológica Mundial (HULME, 2009).

Os estudos de variabilidade natural dedicam-se a encontrar padrões sazonais, interanuais e interdecadais de flutuação e alteração das medidas variáveis climáticas: temperatura, pressão e umidade atmosférica, temperatura, pressão e

salinidade dos oceanos, da composição dos gases presentes no ar ou dissolvidos nos oceanos.

Segundo um artigo de climatologistas brasileiros sobre as definições de tempo e clima na América do Sul (REBOITA et al., 2012), estas medidas são variáveis devido: às diferenças de radiação, decorrentes do formato arredondado do planeta, que faz com que os trópicos sejam mais quentes, por receberem mais radiação solar do que os polos; à inclinação do eixo terrestre, que cria as diferenças entre as estações do ano. Diferenças de temperatura criam diferenças de pressão e de concentração, que, por sua vez, geram movimentos.

As circulações dinâmicas das correntes atmosféricas e oceânicas são, portanto, criadas pelas diferenças de temperatura, pressão e concentração de umidade e salinidade entre diferentes regiões. Esta circulação geral da atmosfera e dos oceanos é foco de trabalho dos modelos computacionais, chamados de Modelos de Circulação Geral. Deste modo, o calor é compreendido como o motor da dinâmica climática e a atmosfera e os oceanos são compreendidos como sistemas em constante desequilíbrio e em busca constante por equilíbrio.

(...) [O] aquecimento diferencial da atmosfera induz a formação dos ventos que transportam ar quente e úmido da região tropical para os polos e também transportam ar frio e seco dos polos para a região tropical. No oceano, há geração das correntes marítimas e o processo de transferência de calor entre trópicos e polos é similar ao da atmosfera. Nota-se, portanto, que há uma redistribuição de energia para manter o equilíbrio térmico da Terra (REBOITA et al., 2012, p. 36).

Estas variáveis (temperatura, umidade, concentração, salinidade, pressão, vento) foram formuladas como as unidades básicas de análise dos meteorologistas e climatologistas, desde o século XIX (ver capítulo 2), para explicar as origens e o comportamento dos fenômenos naturais, como chuvas, furacões, tempestades, secas.

É importante notar que muitos dos pesquisadores que entrevistamos e que hoje estudam mudanças climáticas, como Michel, começaram suas carreiras estudando as variabilidades naturais do clima. Suas pesquisas, no início dos anos 1990, sobre

variabilidade natural do oceano e da atmosfera na América do Sul e do oceano Atlântico Sul deram a eles mais conhecimento sobre o sistema climático regional e mais conhecimento técnico do uso da modelagem computacional para estudos do clima, recém-chegada ao Brasil (ver seção 3.5). Até então o conhecimento sobre o clima regional sul-americano era bastante superficial na comunidade científica internacional. Havia poucas medições históricas e séries de dados, e os modelos climáticos internacionais tratavam de forma pouco satisfatória o clima de nossa região.

Fenômenos climáticos relativos à variabilidade climática, como o El Niño e a La Niña, processos oscilatórios de interação entre o aquecimento e esfriamento das águas do oceano Pacífico tropical e o clima global, foram objetos de pesquisa importantes a partir dos anos 1990 para a comunidade científica internacional dos estudos de variabilidade do clima, inclusive no Brasil (GLANTZ, 2001).

Em contraposição ao termo variabilidade natural, o termo “mudança climática” refere-se corriqueiramente à alteração recente em que o clima variável global vem sendo modificado de forma acelerada e duradoura devido à ações humanas. Em alguns estudos científicos, as mudanças climáticas também podem se referir a mudanças no passado, geralmente de desenvolvimento bastante lento e de causas naturais - globais, como os períodos de glaciação, por exemplo, ou locais, como a desertificação de algumas regiões, por exemplo.

O regime internacional diplomático e científico aponta a duas grandes definições de mudanças climáticas: o IPCC, o órgão científico, define “mudanças climáticas” como qualquer alteração devido a causas naturais ou antropogênicas; já a UNFCCC, o órgão diplomático, define “mudanças climáticas” como antropogênica, classificando as alterações de origem natural como “variabilidade climática” (HULME, 2009, sec. Prefácio, p. xxxviii). No glossário do Terceiro Relatório de Avaliação do IPCC (AR3):

Mudança climática se refere a uma variação estatisticamente significativa do estado médio do clima ou de suas variabilidades, persistentes por um período estendido de tempo (normalmente décadas, ou mais). A mudança climática pode ser devido a processos naturais internos ou forçantes externas, ou a mudanças

antropogênicas persistentes na composição da atmosfera ou no uso da terra. Nota-se que a Convenção-Quadro de Mudanças Climáticas (UNFCCC), em seu Artigo 1º, define “mudanças climáticas” como: “uma mudança do clima, que atribui-se diretamente ou indiretamente a atividades humanas que alterem a composição da atmosfera global, ou que seja adicional a variabilidades climáticas naturais observadas por períodos comparáveis de tempo”. Deste modo, a UNFCCC cria uma distinção entre “mudanças climáticas” atribuíveis a atividades humanas que alterem a composição da atmosfera, e a “variabilidade climática” atribuíveis a causas naturais. (HOUGHTON et al. [IPCC], 2001, sec. Apêndice 1 - Glossário).⁹³

Na tarde de 31 de outubro, fui recebido pela professora Catarina, física de formação, mas que há duas décadas trabalha com modelagem de clima. De estudos de variabilidade natural da América do Sul, com uso de modelagem computacional, no início de sua carreira, ela passou, após o início dos anos 2000, a realizar estudos que levavam em conta as mudanças climáticas para a região da América do Sul e do oceano Atlântico Sul. Na entrevista, diz que teve contato com mudanças climáticas em programas de intercâmbio acadêmico em instituições norte-americanas no começo dos anos 1990, antes que o tema se tornasse forte no Brasil, mas quando já era amplamente discutido por acadêmicos daquele país.

Em uma análise do título, palavras-chave e resumos de seus artigos publicados, contidos em seu currículo Lattes, a primeira menção a “aquecimento” ocorreu somente em 1999, e sem qualquer menção aos termos-chave “Aquecimento Global” ou “Mudanças Climáticas”. A primeira vez que escreve sobre este tema é em 2003,

⁹³ Podemos notar que nenhuma classificação é vazia de disputas sociotécnicas (políticas e científicas) pelos nomes. Mike Hulme (2009) afirma que o uso da categoria “mudanças climáticas” pelo IPCC é mais técnica do que seu uso popular ou diplomático (pelo UNFCCC), que trata as mudanças como exclusivamente antropogênicas. “Aquecimento global” é uma categoria popular que constantemente resume e reduz a associação entre “interferência humana” e “mudança do clima” a uma de suas consequências: o aumento da temperatura média global.

em que cita os relatórios de avaliação do IPCC⁹⁴ e trata exclusivamente da mudança do clima a partir de uma revisão da literatura e da análise de dados sobre a relação entre aumento da concentração de gases de efeito-estufa e aquecimento da temperatura na América do Sul e no oceano Atlântico Sul. A partir de 2004, grande parte de seus artigos mencionam modelos climáticos globais, gases de efeito-estufa, aquecimento global e mudanças climáticas.

Michel, professor que hoje estuda as mudanças climáticas, também iniciou seus estudos com pesquisas de variabilidade climática no Brasil com uso de modelos numéricos atmosféricos. Os estudos de variabilidade com o uso da simulação computacional foram sua porta de entrada ao uso de modelos climáticos atuais. Apesar das diferenças classificatórias entre os termos variabilidade e mudança climáticas, podemos ver como eles estão intimamente associados na prática científica do desenvolvimento de modelos de simulação do clima⁹⁵.

Em nossa primeira entrevista, em dezembro de 2012, procurei entender qual havia sido os passos de sua carreira que haviam levado aos estudos de mudanças climáticas com o uso de modelos de computador.

Andre: Quando iniciaram seus estudos com modelagem computacional sobre o clima?

Michel: Nos anos 1980, [esta Instituição] ainda não tinha computadores para estudos climáticos. No final dos anos 1980, fui para [o país A] estudar dinâmicas da atmosfera com uso de modelos computacionais. No Brasil, eu estudava as áreas de instabilidade na América do Sul tropical com uso de balões atmosféricos lançados da base área de Macapá. Era um forte construído pelos militares para o controle das fronteiras, por causa dos conflitos na Amazônia. Mas apenas no estrangeiro eu tinha a possibilidade de usar modelos computacionais para estudar as dinâmicas do clima regional e suas inter-

⁹⁴ Como vimos na seção 3.5, o Terceiro Relatório de Avaliação (TAR) do IPCC, de 2001, teve um impacto considerável na produção científica da Universidade de São Paulo (FREITAS; AMBRIZZI, 2012).

⁹⁵ Ambos os pesquisadores estão atualmente envolvidos com modelagem paleoclimática, que simula variabilidades e mudanças do clima no passado – o que impediu que uma etnografia de observação participante fosse feita sobre suas práticas com modelagem de mudanças futuras do clima.

relações com dinâmicas climáticas de outras partes do globo.

Nos anos 1980, as ondas de propagação globais e teleconexões⁹⁶ ainda eram um grande assunto [para a climatologia] e ainda estamos tentando entender como forçantes⁹⁷ em um lugar do planeta influenciam outro lugar.

Trouxemos [para esta instituição] os modelos [de circulação geral] para o estudo da variabilidade e dinâmica do clima da América do Sul. Fazíamos uma simulação global de passado e presente de quarenta anos para analisar as respostas do clima na América do Sul, frente a essas forçantes globais.

O contato com mudanças climáticas foi tardio, veio somente nos anos 2000. Fazíamos [no projeto A] a projeção para o futuro das simulações para a América do Sul usando dois modelos, derivados de dois modelos [dos países A e B]. Um deles era o que havíamos trazido para cá antes, para estudar a variabilidade. Nessa época, quando o IPCC publicava o AR4, que recebeu o prêmio Nobel, fazíamos estudos que combinavam variabilidade do presente com cenários e projeções futuras. E a partir daí, direcionei minhas pesquisas para cenários no futuro.

⁹⁶ Teleconexões são, para a ciência climática e meteorológica, padrões atmosféricos variáveis de circulação e pressão que impactam regiões muito distantes entre si. Fonte: Serviço Meteorológico Nacional dos Estados Unidos, vinculado à NOAA <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/teledoc/teleintro.shtml> (acesso em maio de 2014).

⁹⁷ Forçantes, do inglês *forcing*, são quaisquer fatores que afetem o clima, forçando-o a variar. Na citação acima, forçante é utilizada para denominar uma dinâmica regional de aquecimento ou esfriamento do clima que causa a variação do clima de outra região (como o El Niño). Usualmente, o termo é utilizado para denominar as três forçantes principais do clima: a forçante radiativa solar (medida da diferença entre radiação solar recebida pela Terra, absorvida pela superfície ou atmosfera, e a radiação refletida de volta ao espaço sideral), a forçante dos vulcões (emissões vulcânicas contêm grandes quantidades de material particulado altamente reflexivo e que refletem a radiação solar, diminuindo a temperatura terrestre) e a forçante dos gases de efeito-estufa (responsáveis por tornar a atmosfera translúcida e não transparente à radiação que reflete de volta ao espaço, absorvendo parte da radiação e aquecendo a temperatura terrestre). A forçante radiativa solar é a única que gera calor, enquanto as outras forçantes apenas alteram a absorção ou reflexão da radiação, com impacto direto no aumento ou diminuição da temperatura. As forçantes radiativas são medidas em termos de unidade de Watts por metro quadrado de superfície. Fonte: Serviço Meteorológico Nacional dos Estados Unidos, vinculado à NOAA <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/> (acesso em maio de 2014).

Fonte: Centro Nacional de Dados Climáticos dos Estados Unidos, vinculado à NOAA <http://www.ncdc.noaa.gov/paleo/globalwarming/gw-forcing.html> (acesso em julho de 2014).

Com este uso inicial dos modelos de circulação geral atmosférica para estudos de variabilidade climática no Brasil, Michel rodava simulações do passado e do presente para analisar os fatores climáticos regionais e globais que influenciam as diferentes respostas dinâmicas do clima da região sul-americana.

Ele também me relatou que em 1998, com a ocorrência de um El Niño muito forte, que causou uma seca de grandes proporções nas regiões Nordeste e Centro-oeste e fez com que as temperaturas médias anuais deste ano atingissem recordes, diversos pesquisadores, entre eles Michel, foram convidados pelo então governador do Estado de São Paulo, Mário Covas, para discutir os riscos de chuvas intensas no estado de São Paulo decorrentes do El Niño e realizar um trabalho conjunto com a Defesa Civil – um dos inúmeros exemplos de como modelos climáticos e as simulações de riscos que os cientistas rodam estão no centro das redes sociotécnicas entre ciência e política.

Nos anos 2000, com as publicações dos relatórios do IPCC, as mudanças climáticas entraram em voga como objeto de estudo, como vimos anteriormente, e modelos utilizados para estudar o clima regional da América do Sul passaram a ser adaptados para produzir cenários futuros. Os estudos de variabilidade do presente ou passado próximo, que analisavam o comportamento climático e os diversos fatores envolvidos em sua dinâmica, foram combinados às projeções de emissões de gases de efeito-estufa para o futuro para produzir cenários de um clima afetado não somente pela variabilidade interna, mas também pelas forçantes humanas. Portanto, as mudanças climáticas, para estas práticas de modelagem computacional, são produzidas por associações entre modelos desenvolvidos anteriormente para o estudo do clima e projeções futuras de atividades humanas.

A detecção das mudanças climáticas no presente tornou-se muito importante para esta comunidade de modelistas climáticos. A comunidade científica internacional reunida pelo IPCC, e localmente no Brasil pelo PBMC, dedica-se constantemente a encontrar as evidências que indiquem direta ou indiretamente que o clima está mudando e não apenas variando.

Em minha primeira entrevista com Michel, fiz algumas questões sobre o que indicavam para eles que as mudanças climáticas não eram apenas um risco projetado para o futuro e baseado em projeções bastante simplificadoras. O intuito

era o de compreender o que em suas simulações computacionais ou nos dados observados era usado para indicar tais alterações.

Se um evento isolado correlaciona-se com grandes dificuldades às mudanças climáticas, devido ao efeito da variabilidade interna caótica, como era possível, para estes pesquisadores, traçar uma fronteira de causa e classificação entre fenômenos climáticos, cujas manifestações são bastante próximas entre si? Como era possível separar fenômenos decorrentes da variabilidade natural de fenômenos decorrentes das mudanças climáticas?

Segundo Michel, a diferença entre um evento extremo singular da ordem da variabilidade, e eventos extremos da ordem da mudança causadas pelo impacto antropogênico no clima, é *climatológica*.

Andre: Como você diferencia um evento de variabilidade de um evento de mudança climática em suas pesquisas?

Michel: Consigo mostrar, por exemplo, que climatologicamente (sic), na média, entre 1970 e 2000, os ciclones não se tornaram mais frequentes, mas a frequência de ciclones extremos aumentou.

Um ciclone sozinho é muito difícil de você afirmar como um evento de mudança climática. Pelo efeito do caos e da variabilidade, há eventos extremos o tempo todo.

Comparamos um conjunto de eventos muito próximos entre si no tempo, e muito similares em sua força, para indicar a mudança climática.

(...) Isso coincide com o aumento da temperatura. Esses sistemas [de ciclones] têm mais energia para ficarem mais intensos.

Eventos extremos, como, por exemplo, precipitações ou temperaturas acima da média, ciclones com intensidade pouco frequentes ou com ocorrência em locais onde normalmente não são detectados, são esporádicos e cada um deles, se considerado como fenômeno único na escala temporal, não permitem que seja indicada com grande certeza uma mudança nos padrões do clima. Entretanto, conjuntos de eventos extremos muito próximos entre si na escala do tempo e bastante similares entre si podem indicar, na ordem “climatológica” (do conjunto de

fenômenos), e não “meteorológica” (de um fenômeno), a mudança climática na escala longa do tempo.

Os pesquisadores associam os dados observados, que indicam aumento de temperatura quase constante nas últimas décadas, a uma série de fenômenos históricos extremos em conjunto, como secas, enchentes, ciclones históricos, e cada vez mais intensos ou frequentes. Estes fenômenos apresentam intensidade além ou aquém das médias históricas, mas definem-se como extremos normalmente devido as efeitos catastróficos em ocupações humanas ou ecossistemas⁹⁸.

Andre: O que define uma intensidade extrema? O que diferencia um evento extremo de outro normal?

Michel: Um bom meteorologista sabe fazer essa diferenciação, com base nos indicadores locais. Temos as categorias de intensidade dos tornados. Mas temos que analisar o conjunto de estragos, os tipos de estragos, conseguimos medir até indiretamente, por exemplo, a força do vento de uma tempestade, com o distanciamento entre póls de diferentes regiões.

Os dados passaram a ficar mais confiáveis a partir de 1975, 1976, com os dados dos satélites bem concretizados.

Michel menciona, além dos ciclones, as grandes secas históricas da Amazônia de 2005 e 2010, o aumento da ocorrência de eventos extremos de precipitação, ou seja chuvas fortes, durante o inverno na capital paulista, fenômeno normalmente

⁹⁸ No quarto relatório do IPCC de 2007, lemos: “As mudanças climáticas podem ser percebidas, na maioria das vezes, por meio dos impactos dos [eventos] extremos, embora eles sejam, em grande medida, dependentes do sistema em consideração, incluindo sua vulnerabilidade, resiliência e capacidade para adaptação e mitigação (...). Desenvolvimentos tecnológicos levam as pessoas a ficarem sabendo de [eventos] extremos [meteorológicos] na maior parte do mundo em poucas horas após sua ocorrência. Imagens gravadas por câmeras nos noticiários podem nutrir a crença de que extremos meteorológicos estão cada vez mais frequentes, estando de fato ou não. Um evento meteorológico extremo torna-se um desastre quando a sociedade e/ou os ecossistemas são incapazes de lidar com ele efetivamente. A vulnerabilidade humana crescente (devido ao aumento do número de pessoas vivendo em áreas expostas e marginais ou devido ao desenvolvimento de mais propriedades de alto valor em zonas de alto risco) está ampliando o risco, enquanto esforços humanos (como, por exemplo, por governos locais) procuram mitigar possíveis efeitos” (SOLOMON et al. [IPCC], 2007, p. 299).

ausente durante essa estação neste local, e ainda a ocorrência de um ciclone, o Catarina, nunca antes registrado em águas brasileiras, na costa sul do Brasil em 2004.

É essencial notar que a diferença entre fenômenos extremos associados à variabilidade ou à mudança climática é criada na prática da ciência climática. Por meio de análises estatísticas das séries de dados históricos e de simulações computacionais de séries históricas, com a transformação do uso de modelos de circulação geral originalmente de uso meteorológico para o uso climático, para estudos sobre a longa duração, são formuladas e testadas estas classificações.

Quando o pesquisador explica a diferença entre variabilidade e mudança para definir a causa de um fenômeno extremo como sendo “climatológica”, ele aborda não apenas a definição teórica que separa clima e tempo, mas também o extenso trabalho de reunir os eventos em séries estatísticas de décadas de observações, reunir evidências de seu comportamento, associando séries de aumentos de temperatura global, e simular seus fatores e suas forçantes.

O aumento da forçante humana no clima, com a emissão de gases de efeito-estufa, que retêm radiação refletida e causam o aquecimento das temperaturas médias atmosféricas e oceânicas, gera mais energia em todo o sistema climático, nestas simulações computacionais. Com mais energia disponível no sistema climático simulado, mais ciclones extremos são gerados por estas simulações - o que coincide tanto com o aumento de eventos extremos registrados nos últimos anos, como com o aumento das temperaturas médias e da concentração medida de gases atmosféricos.

Desta forma, não apenas é possível distinguir eventos relacionados às mudanças na longa duração de eventos extremos esporádicos da esfera da variabilidade, como a própria definição de mudança climática, com seus riscos futuros e suas narrativas repletas de catástrofes naturais, ganha corpo.

Após arregimentar redes científicas mais extensas, feitas de uma infinidade de elementos (dados, medições e evidências de fenômenos extremos e séries de variáveis médias), o cientista climático pode traduzi-los para um número ainda menor de elementos: *inputs* a serem incluídos em seu modelo, que, por sua vez, geram novas associações na forma de *outputs* – o que permite a criação de

correlação do tipo “a frequência de ciclones mais intensos aumentou na série climatológica, devido ao aumento de temperatura”, em que estão contidas todo o trabalho de correlação estatística, modelagem climática e as redes mais amplas que produzem os dados.

Veremos nas próximas seções aquilo que Latour (1983) afirma ser uma das maiores conquistas da ciência moderna, seu poder de operar por inúmeras traduções entre escalas macro e microscópicas, entre infinidades e números reduzidos de porta-vozes, e entre o mundo externo e o recinto controlado do laboratório. Abordaremos com mais detalhes a produção e o uso dos modelos climáticos, sua física, suas práticas e suas técnicas. Isto possibilitará uma discussão ao final do capítulo das diferentes associações de humanos e não-humanos que compõem a tecnociência climática.

4.2 MODELAGEM CLIMÁTICA COMO CIÊNCIA

De acordo com o professor de ciências atmosféricas da Universidade do Estado do Colorado, Estados Unidos, David Randall, os modelos climáticos são histórias (*stories*) sobre a atmosfera, consistentes com as medições observadas nos últimos dois séculos da ciência climática⁹⁹. Eles são narrativas temporais e espaciais sobre o clima, formuladas como conjuntos de equações físicas descrevendo fenômenos globais naturais atmosféricos, oceânicos e outros, resolvidas matematicamente e escritas por meio de códigos computacionais em programas rodados em supercomputadores. Estas narrativas físicas, matemáticas e computacionais foram desenvolvidas para simular a evolução das interações climáticas no longo prazo: primeiro no passado, nos estudos de variabilidade, e depois incluindo os cenários futuros, nos estudos de mudanças climáticas.

Segundo o relato dos informantes, modelos climáticos são originários de modelos meteorológicos, utilizados para previsões de curto prazo e que tratam das

⁹⁹ Fonte, página online do manual didático do curso de ciências atmosféricas da Universidade do Estado do Colorado, *An Introduction to Atmospheric Modelling*, por David A. Randall (2013): http://kiwi.atmos.colostate.edu/group/dave/at604pdf/Chapter_1.pdf (acesso em junho de 2014).

variáveis em uma pequena escala de tempo. São versões simplificadas dos modelos meteorológicos, em relação à quantidade de dados extraído do banco de dados para iniciar uma simulação, porém mais complexo, em relação a quantidade de componentes inseridas nos cálculos.

Enquanto em um modelo meteorológico são inseridos dados de medições de variáveis (pressão, temperatura, umidade e vento) na escala curta de tempo, de minutos, horas e dias, o que gera uma grande quantidade de dados, o modelo climático incorpora um menor volume de dados, porém numa escala mais longa de tempo. São inseridas as médias estatísticas mensais, sazonais e anuais por longos períodos de tempo. Isto faz com que os modelos climáticos descrevam e trabalhem com as variáveis de forma mais simplificada.

As diferenças entre os modelos existem não apenas por questões teóricas, mas também práticas, devido aos inúmeros elementos que fazem parte de uma pesquisa científica, como os computadores, os códigos, a capacidade de armazenamento de dados e de velocidade computacional e que serão tratados na próxima sessão. Sundberg encontrou esta mesma questão em seu trabalho etnográfico:

Modelos climáticos e modelos para previsões numéricas do tempo têm uma estrutura muito similar. Por serem usados para prever padrões do tempo e do clima em uma escala de tempo mais longa, modelos climáticos tendem a incluir descrições de processos adicionais. Entretanto, recursos limitados de computação exigem descrições muito mais simplificadas do que modelos de previsão do tempo (2007b, p. 478).

Os modelos climáticos, por descreverem e simularem processos naturais de longo prazo, associam mais elementos além dos atmosféricos, relacionando as chamadas “componentes do Sistema Terrestre”, no jargão científico. As componentes do Sistema Terrestre são subsistemas, grandes zonas ou conjuntos de fenômenos naturais da Terra, estudadas pelas respectivas disciplinas científicas (NOBRE et al., 2010).

As divisões disciplinares espelham a divisão científica das componentes do Sistema. A atmosfera é estudada pelas ciências atmosféricas e pela climatologia, os

oceanos pela oceanografia, a criosfera, ou o conjunto de geleiras e regiões congeladas do globo, pela glaciologia, a biosfera por biólogos, químicos e físicos, a geosfera, pelos geólogos. Estudos que descrevam alguma relação entre as componentes costumam ser produzidos em projetos multidisciplinares.

Como vimos, nas seções sobre criação dos modelos (3.3) e o surgimento do ambientalismo (3.4), a questão ambiental, dos impactos humanos no mundo natural, desafia a compartimentalização disciplinar e estimula a cooperação na prática científica, fazendo com que pesquisadores de diferentes áreas tenham que trabalhar em conjunto, tanto em grandes projetos de pesquisa, em que pesquisadores de diversas áreas pesquisam em um mesmo campo, ou em uma mesma rede, como na escrita e revisão de capítulos de relatórios internacionais e nacionais, no IPCC ou no PBMC (seção 3.5).

A história da modelagem climática é uma história de uma prática científica que demanda o cruzamento de fronteiras e um trabalho multidisciplinar. Os primeiros modelos utilizavam equações físicas para descrever a atmosfera e, em seguida, os oceanos. Modelos de circulação geral meteorológicos e climáticos simulam um sistema macroscópico de fluidos (gasosos e líquidos), como as massas de ar e umidade na atmosfera ou as correntes nos oceanos, a partir de variáveis básicas (temperatura, pressão, umidade, salinidade), que os pesquisadores inserem em suas equações. A resolução matemática das equações permite aos cientistas simular simplificada o comportamento das componentes do sistema e sua interação dinâmica¹⁰⁰ a partir dos cálculos feitos e de suas resoluções.

¹⁰⁰ Dinâmica, em física mecânica, trata dos estudos dos movimentos, em contraposição à Estática. Dinâmica, de maneira geral, corresponde a mudanças e transformações no tempo em um sistema. A termodinâmica trata das transformações criadas pelo calor e das interações entre energia, trabalho, movimento e transformações – *ignis mutat res*, “o fogo transforma as coisas” – ciência que surge junto com a Revolução Industrial e os problemas de física, química e engenharia sobre máquinas e combustão térmica (PRIGOGINE; STENGERS, 1984, p. 83).

A dinâmica em ciência climática trata de transformações e movimentos criados pelas forças de calor nas massas de fluidos atmosféricos e oceânicos – ver seção 4.2.1. Os modelos computacionais trabalham com a dinâmica dos fenômenos climáticos na medida em que as variáveis são constantemente calculadas de forma a interagir entre si e no tempo. Uma variável no tempo não é considerada como um isolado comportando-se mecanicamente, isto é, de maneira reversível, mas em relação a outras variáveis e em constante transformação a partir das perturbações geradas pelo calor, portanto, de maneira irreversível no tempo - trataremos destas interações adiante.

Os modelos atmosféricos foram *acoplados*, jargão científico para conectados ou aproximados¹⁰¹, aos oceânicos e hoje normalmente chamamos de modelos climáticos um modelo de circulação geral atmosférico (AGCM) e oceânico (OGCM) acoplados (AOGCM). Modelos mais recentes, como o modelo brasileiro de mudanças climáticas (BESM), procuram acoplar equações para além das componentes atmosféricas e oceânicas, incluindo processos de vegetação, gelo, biogeoquímico e hidrológico. Os pesquisadores utilizam programas computacionais conhecidos como Acopladores de Fluxos (*flux couplers*), que traduzem os dados gerados pela resolução de equações de um modelo para poderem ser inseridos nas equações do outro modelo e vice-versa.

Michel e Catarina trabalham com modelagem computacional da componente atmosférica acoplada à componente oceânica e já desenvolveram projetos conjuntos, *associando* os elementos (equações físicas e códigos computacionais) trabalhados em cada disciplina. Ivan, também professor, mas de um terceiro instituto, trabalha no desenvolvimento de modelos que procuram acoplar modelos de vegetação.

Enquanto em um modelo meteorológico são associados dados da atmosfera e oceano para gerar simulações e previsões para o curto prazo, os modelos climáticos expandem sua estrutura, incluindo dados de vegetação, e superfície terrestre, calotas polares e química atmosférica. Sobre um modelo desenvolvido por um grupo de pesquisadores de que Ivan faz parte, ele relata:

Ivan: *O [Modelo X] trabalha com três componentes, a atmosférica, a oceânica e a biológica. Processos*

Para o surgimento da chamada “ciência do complexo”, entre elas a termodinâmica, em contraposição à ciência do universo mecânico de Newton, assim como o surgimento da noção de irreversibilidade nas ciências modernas, ver a obra *A Nova Aliança* (PRIGOGINE; STENGERS, 1984). Os autores narram como a ciência do tempo irreversível esteve atrelada às transformações no campo dos motores térmicos, da indústria e da eletricidade, à ideia de progresso e evolução. Para eles, este conjunto de ciências surgiu com o problema de como tratar de transformações irreversíveis e evolutivas criadas pelas reações térmicas ou físico-químicas (como as que ocorrem nos motores, no metabolismo biológico ou nos ciclos naturais) por meio do modelo de tempo cíclico e pendular da cosmologia mecânica newtoniana, que trata apenas de deslocamentos e não de transformações de corpos. A história da ciência climática está atrelada a essas novas cosmologias das ciências modernas.

¹⁰¹ Do inglês *to couple*, parear.

biológicos são muito importantes para o clima da América do Sul e nenhum modelo do mundo representa as áreas alagadas do Pantanal, as diferenças entre cheias e secas, o fogo natural da floresta e por isso são tão importantes para o [modelo X].

A importância em desenvolver várias componentes ao mesmo tempo em um único modelo, como o relatado por Ivan, é que menos ruídos são produzidos quando as simulações são rodadas. Os modelos climáticos que são acoplamentos de modelos de cada componente já prontos tendem a gerar mais problemas, pois cada uma das redes que os produziu não previa as interações do futuro acoplamento.

Durante a CONCLIMA (1ª Conferência Nacional de Mudanças Climáticas), realizada em São Paulo de 09 a 13 de setembro de 2013, um jovem pesquisador doutor de um destes grupos de pesquisa mapeados neste projeto apontou justamente para o problema do acoplamento de componentes de modelos distintos:

É importante estudar e desenvolver modelos de sistema acoplado e fazer as alterações nesse sistema acoplado. Se você faz tudo em cada componente e altera ou desenvolve alterações nas componentes separadamente, na hora de acoplar depois, talvez as coisas não funcionem em conjunto, elas podem não bater. A ciência do sistema terrestre nos ensinou isso. Quando você aumenta a resolução e os acoplamentos de muitas componentes, os erros aumentam sistematicamente.

A complexidade dos atuais modelos de circulação geral, no sentido em que acoplam um número bastante grande de equações de modelos desenvolvidos por diferentes disciplinas, representa um ponto nodal para estas redes – assim como o conjunto de incertezas decorrentes das práticas de associação. Ao acoplar diferentes conjuntos de equações desenvolvidos por diferentes grupos, os pesquisadores associam-nas nos modelos climáticos, *traduzindo* as diferentes demandas e objetos de pesquisa, e suas equações, teorias e práticas científicas, para torná-los equivalentes de modo a funcionar, bem ou mal, em um único sistema (SUNDBERG, 2007a). Redução, ou o que chamamos de traduções, como relembra Callon (1986), são exigências tecnocientíficas para a produção do que os cientistas nomeiam de real. Sem elas a totalidade do objeto pesquisado seria ampla demais

para a produção de conhecimento. Entretanto, paradoxalmente são produzidas constantes traições, na forma de novos ruídos e incertezas.

Modelos climáticos são formas tecnocientíficas de enfrentar um dos maiores problemas da ciência ambiental, o de ter, como objeto central de pesquisa, fenômenos extremamente complexos, sistemas abertos e caóticos e de grande escala temporal e espacial, impossíveis de serem manipulados em laboratório. Os fenômenos climáticos são considerados complexos justamente por serem caóticos e envolverem um multiplicidade de fatores, tornando-os pouco redutíveis a descrições matemáticas simples, exigindo formulações que associam um número muito grande de variáveis e equações.

Pela impossibilidade de trazer os fenômenos climáticos para dentro de recintos laboratoriais, modelos climáticos são compreendidos como simplificações e reduções do fenômeno climático complexo a interações matemáticas codificadas para programas de computador. Nos modelos climáticos, “a complexidade completa da atmosfera¹⁰² é reduzida a um número pequeno de leis físicas” (SUNDBERG, 2009, p. 163). Mike Hulme (2011) aponta para o reducionismo como importante característica metodológica das abordagens climatológicas que compreendem a complexidade das entidades e relações, reduzindo-a a interações entre suas partes ou a entidades mais simples.

Em contraposição à característica simplificadora e redutora dos modelos, Shackley et al. (1998) apontam para a complexificação como uma das características dos modelos climáticos. Modelos cada vez mais complexos, no sentido em que acoplam uma quantidade cada vez maior de equações e dados das diferentes redes que estudam os subsistemas terrestres, são preferidos em detrimento de outras formas minoritárias, mais simples e mais elegantes de se realizar estudos de mudanças climáticas. Como me disse a pesquisadora de mudanças climáticas, Rita, em uma entrevista no Inpe¹⁰³, em São José dos Campos, os modelos são muitas vezes criticados pela busca incessante de soluções elegantes da ciência moderna, “(...) a busca do Santo Graal, o desejo da Física para resolver tudo de forma muito simples”.

¹⁰² Assim como dos oceanos, vegetação, calotas polares e hidrosfera.

¹⁰³ Entrevista em 06/12/12.

O sistema climático é amplamente percebido como sendo complexo, não apenas em termos das características dos processos envolvidos (como, por exemplo, sua não-linearidade e o nível de interconexão entre subsistemas), mas também devido a seu alcance absoluto: por exemplo, o amplo escopo, nos sistemas terrestres, dos processos interativos físicos, químicos e biológicos que influenciam o clima. É também aceito de forma ampla que este nível de complexidade está muito além da capacidade de qualquer modelo climático presente.

Uma resposta dominante a estes argumentos é a inclusão de cada vez mais detalhes, de forma a aumentar a acurácia percebida do modelo; por exemplo, para tratar a complexidade da natureza com a complexidade do modelo, como uma forma de melhorar a compreensão dos processos físicos dinâmicos e interativos, assim como para testar completamente a sensibilidade do modelo para alguns processos e possíveis cenários de políticas públicas. De acordo com essa estratégia, presume-se o argumento de que um modelo mais complexo é uma melhor representação de um sistema complexo e, então, que ele contém mais verdades do que outros modelos¹⁰⁴ (SHACKLEY et al., 1998, p. 166).

Ao mesmo tempo em que simplificam e reduzem fenômenos complexos a interações matemáticas, pesquisadores de mudanças climáticas tratam de sistemas ambientais complexos (abertos, não-lineares e de múltiplas variáveis) em contraste

¹⁰⁴ No original: “The climate system is widely perceived as being complex, not only in terms of the characteristics of the processes involved (such as their non-linearity and the level of interconnection between sub-systems) but also with respect to their sheer range: i.e., the broad scope of interactive physical, chemical and biological processes in earth systems which influence climate. It is also widely accepted that this level of complexity is far beyond the power of any present climate models.

One dominant response to these arguments is the inclusion of ever more detail so as to increase the perceived accuracy of the model; i.e., to meet complexity in nature with model complexity, as a way of improving understanding of the interactive dynamical physical processes, as well as for thorough testing of the model’s sensitivity to certain processes and possible policy scenarios. This strategy assumes that a more complex model may lay claim to be a better representation of a complex system and, hence, that it has a greater truth-content than other models”.

aos sistemas fechados das experimentações laboratoriais¹⁰⁵ (SHACKLEY et al., 1998, p. 173).

Existe, portanto, um aparente paradoxo entre complexidade e simplificação na modelagem climática. Shackley et al. descrevem este conflito, entre simplificação e complexificação, como fundamental ao tipo de ciência praticado pelos que usam e desenvolvem modelos climáticos. Contrários à busca de soluções elegantes, que representariam simplificadamente o comportamento de sistemas, os modelistas climáticos procuram incluir cada vez mais detalhes para que a eficiência em simular o clima seja aumentada. Eles nomeiam como o “dogma central” das redes científicas de mudanças climáticas a ideia de que “uma maior complexidade iguale-se a um maior realismo” (1998, p. 166).

Esta complexidade, de que tratam os autores, refere-se apenas ao campo do *conhecimento*, entretanto, também podemos dizer que a complexidade de uma ciência que se dedica a descrever sistemas abertos, não-lineares e de múltiplas variáveis com o intuito de manipulá-los através de simulações computacionais, se dá no campo da *prática* científica.

Veremos como é essencial para esta prática científica a simplificação das reduções matemáticas e computacionais, e a complexidade da associação entre um número cada vez maior de elementos, os dados, e das relações e interações entre eles, possibilitadas por cálculos matemáticos e pela codificação computacional. Elementos e suas relações permitem que os cientistas trabalhem com simulações do comportamento climático futuro, realizando experimentações como em um laboratório.

Consideraremos em primeiro lugar as questões teóricas dos modelos climáticas, nomeadamente as equações físicas, as escalas de tempo e espaço e as parametrizações, para em seguida tratar das questões tecnológicas, como

¹⁰⁵ Ver a nota 84 sobre a história do surgimento da ciência da complexidade, conforme tratada de por Ilya Prigogine e Isabelle Stengers em *A Nova Aliança* (1984). Os sistemas abertos, não-lineares e de múltiplas variáveis interativas no tempo e no espaço, de que tratam os modelistas climáticos e em contraposição a modelos mecânicos de sistemas fechados e poucas variáveis controladas, faz parte desta história.(Cf. PRIGOGINE; STENGERS, 1984)

computação, infraestrutura e programação. Desta forma, poderemos tratar os modelos climáticos como laboratórios, ao final do capítulo.

4.2.1 Equações

As equações, segundo Latour, são como quaisquer ferramentas da ciência e da tecnologia.

(...) [Permitem] reunir, mobilizar, organizar e apresentar elementos; não [são diferentes] de uma tabela, de um questionário, de uma lista, de um gráfico, de uma coleção; [são] simplesmente, como ponto final de uma longa cadeia, um meio de acelerar ainda mais a mobilidade dos traçados; de fato, as equações são subconjuntos de translação (...) (LATOUR, 2000a, pp. 385–392 grifo no original).

Como em uma coleção dos museus etnográficos ou científicos, que utilizam um pequeno número de representantes materiais como porta-vozes de culturas e fenômenos geológicos complexos, e das redes científicas necessárias para coletá-los e analisá-los, as equações encerram em si uma infinidade de elementos. Inúmeras entidades mobilizadas por redes científicas são matematicamente reduzidas a uma pequena quantidade de coeficientes, constantes, correlações. Todas as redes de pesquisadores, instituições e ferramentas necessárias para gerá-los é reduzida a uma fórmula.

De acordo com os professores entrevistados, todos os modelos climáticos têm como base a componente atmosférica e simulam o clima com base em três conjuntos matemáticos: as equações físicas que descrevem os processos dinâmicos (termodinâmica, dinâmica dos fluidos e seus movimento) da atmosfera e dos oceanos; as equações de radiação (geração, transferência, reflexo e absorção de energia); e as chamadas parametrizações, que descrevem de forma simplificada inúmeros processos ou pouco compreendidos ou que ocorrem em uma escala menor

que a escala tridimensional adotada, por exemplo, nuvens, hidrologia de rios e massas de água doce, albedo e convecção.

Segundo Michel, todos os modelos resolvem os mesmos “três conjuntos de equações básicas”, também chamadas de “equações primitivas”, um conjunto de equações não-lineares e diferenciais¹⁰⁶, que representam de forma aproximada o fluxo atmosférico ou oceânico, resolvendo as quatro variáveis básicas de qualquer modelo (velocidade de vento, pressão, umidade e temperatura).

Elas são: as equações da termodinâmica, que resolvem a energia do sistema; as equações do momento, que representam o fluxo hidrodinâmico dos fluidos, isto é, ventos, correntes, a circulação atmosférica e oceânica; e as equações das massas, descrevendo pressão e densidade, umidade das massas de ar (ou salinidade nas de oceânicas). Há também, de acordo com Michel, uma quarta equação, a equação do gás perfeito – uma lei da termodinâmica que trata os gases de forma a desconsiderar as interações na escala molecular, necessária para permitir cálculos de fenômenos macroscópicos, porém geradora de incertezas.

Essas equações foram desenvolvidas pela física ao longo dos últimos dois séculos, desde o surgimento da termodinâmica, com Fourier, como vimos nos segundo e terceiro capítulos. As equações primitivas ou básicas mudam pouco entre os modelos, “a física é a mesma”, nas palavras dos pesquisadores. Veremos como, em relação a diversas questões, “a física”, ou “a química” do modelo podem não ser a mesma.

Cada modelo, ao ser apresentado para o público, em congressos ou publicações científicas, enumera o conjunto de referências e métodos utilizados para descrever e

¹⁰⁶ A história da termodinâmica não-linear, que trata dos processos turbulentos em sistemas e estruturas complexas (de múltiplos parâmetros, variáveis e fatores), irreversíveis e longe do equilíbrio, é narrada por Prigogine e Stengers (1984, cap. 4–6). As flutuações não-lineares e caóticas destes sistemas, tratados pelo que os autores chamam de “a ciência do complexo”, opõem-se ao universo estático e mecânico da física clássica. Bifurcações e transformações constantes, tratados pelas ciências do complexo, criam história. Gleick (1987) narra a história da chamada “ciência do caos”, originalmente a partir de estudos atmosféricos, com o uso de máquinas computacionais para modelar o comportamento caótico de fenômenos meteorológicos (cf. Capítulo 3, seção 3.3). Estes fenômenos não-lineares (em que as resultantes e saídas não são diretamente proporcionais aos fatores e entradas) e caóticos (totalmente determinados por suas condições iniciais e altamente sensíveis a elas) são imprevisíveis a longo prazo, na medida em que qualquer diferença minúscula nas condições iniciais cria resultados bastante divergentes, portanto não-determináveis.

resolver os processos calculados pelas equações. Na apresentação de um modelo climático na CONCLIMA, em setembro de 2013, uma das tabelas de um dos subgrupos apresentava o conjunto de processos resolvidos pelo modelo, como, por exemplo, “radiação de onda curta”, “radiação de onda longa”, “camada limite”, “esquema de superfície”, “convecção profunda”, “convecção rasa”, “precipitação de larga escala”, “microfísica” e “fluxo sobre oceano”, seguidos das referências às publicações científicas que propuseram os métodos de resoluções.

Isto indica que há algumas maneiras diferentes de resolver um processo climático. Resolver indica o jargão nativo para calcular as equações, de acordo com as variáveis e os coeficientes incluídos, apresentando uma solução na forma de números, que serão interpretados pelos cientistas e traduzidos na forma de mapas posteriormente.

As equações físicas básicas podem ser “as mesmas”, como diz Michel, mas certamente as formas e os métodos de descrever a física dos processos modelados pelos cientistas, assim como os métodos matemáticos para resolvê-los não são os mesmos, e os cientistas fazem inúmeras escolhas entre os métodos disponíveis para cada processo. As escolhas normalmente são baseadas na comparação dos resultados simulados com os dados observados e em maior eficácia computacional (SUNDBERG, 2009)

Além disso, há fatores inerentes aos processos que geram inúmeros problemas ou incertezas. Por exemplo, sobre as equações das massas, Michel afirma que nenhum modelo, regional ou global, pode criar massa a partir do momento em que começa a rodar num programa de computador, devido às leis de conservação de massas – massas não são criadas e não desaparecem, mas se transformam seguindo as leis da continuidade, se movimentando e se modificando de acordo com a dinâmica atmosférica.

As massas de ar, fluidos atmosféricos líquidos e gasosos, são consideradas como dadas em uma simulação e já estão presentes no modelo após o estabelecimento de uma condição inicial para o início da simulação – que vai simular as interações entre os processos a partir das variáveis de temperatura, pressão, umidade e dos diferentes métodos para resolvê-los. Um modelo acoplado

que simule a influência antropogênica no clima normalmente toma o final do século XIX, o ano de 1870¹⁰⁷, como condição inicial para o início da simulação.

Assim como as equações, conjuntos de traduções de elementos de redes mais amplas, as condições iniciais encerram em si uma grande quantidade de elementos provenientes dos bancos de dados internacionais, agências, serviços, e centros de pesquisa que servirão de *inputs* para as equações serem calculadas.

Todo modelo é dependente de algumas poucas agências e redes internacionais de banco de dados históricos e das redes de medição internacionais – outro fator de complicação citado pelos modelistas, pois as redes de observação são rarefeitas em grandes regiões do globo, como oceanos, desertos, florestas distantes das grandes metrópoles e dos centros de pesquisa, regiões apenas parcialmente cobertas por estações meteorológicas ou cobertas há muito pouco tempo.

Outro fator de complicação está nas equações da termodinâmica, que descrevem a energia das componentes do sistema terrestre e suas fontes e sumidouros. O “termo que gera calor” dentro do modelo de equações é complicado pelo fato de que “muita coisa gera calor”, nas palavras de Michel.

O problema da equação da termodinâmica é que muita coisa gera calor. Então você tem que expandir o termo e incluir a radiação solar, a radiação do efeito-estufa na atmosfera, a mudança de fase da água, para o vapor, no nível molecular.

A energia é constantemente gerada pelo sol e é modificada ao atingir a superfície terrestre pelas diferentes formas como é absorvida e refletida (REBOITA et al., 2012). As equações físicas são resolvidas por meio de termos termodinâmicos que geram energia: as mudanças de fase da água; a radiação solar que chega à Terra e é absorvida pela superfície terrestre e pela atmosfera; a radiação que reflete da superfície de volta ao espaço e é parcialmente reabsorvida pela atmosfera, sendo impedida de se dissipar totalmente no espaço e gerando o calor da superfície

¹⁰⁷ Ápice da Revolução Industrial e também do surgimento das redes internacionais de ciência do clima (ver início do terceiro capítulo).

terrestre¹⁰⁸. O termo que gera calor nas equações tem que dar conta da multiplicidade de fontes e sumidouros de energia, e das interações entre eles.¹⁰⁹

Uma das principais descrições da termodinâmica nos modelos climáticos são aquelas da convecção térmica. Os primeiros modelos, como relatamos na seção 3.4, descreviam a atmosfera como uma camada de fluidos uniforme – uma capa única em torno do globo simulado. A tradução, para dentro do modelo, de equações sobre a convecção térmica permitiu que os modelos simulassem a circulação atmosférica, decorrente do fato de justamente a superfície terrestre não ser plana ou uniforme e a atmosfera ser dinâmica – passagem de uma abordagem mecânica e estática para uma abordagem complexa do clima.

A convecção térmica é a expressão que envolve o movimento e transporte de massa em fluidos, devido às diferenças de temperatura. Como a Terra é um globo, a radiação solar incide no equador e nos polos com ângulos e intensidades distintas, o que cria uma diferença de temperatura entre eles. Essa diferença é um dos motores do clima global, pois cria diferenças de pressão (devido às diferentes movimentações na escala molecular), gerando movimento das massas de ar, que se movimentam da região de maior para a de menor pressão – no caso do equador aos polos. Como o globo terrestre gira em torno do próprio eixo, a circulação atmosférica também funciona em função da rotação.

Além das diferenças de temperatura da latitude, a convecção térmica dos modelos climáticos também descreve os movimentos dos fluidos atmosféricos decorrentes da diferença de densidade, entre temperaturas mais frias ou mais quentes devido à altitude – o que só foi possível quando os modelos se tornaram tridimensionais nos anos 1970 (cf. Seção 3.4).

Além da multiplicidade de fontes radiativas, os modelos têm que dar conta da multiplicidade de reflexividade das superfícies terrestres e das controvérsias em torno das formas de medi-las. Oceanos e superfícies terrestres absorvem e refletem radiação com intensidades diferentes entre si, assim como superfícies de florestas,

¹⁰⁸ Ver capítulo 2 sobre a origem do termo efeito-estufa.

¹⁰⁹ Quanto maior o número de variáveis de um sistema, maior o número de interações entre elas e maior o número de flutuações que levam ao desequilíbrio, à transformação e à mudança – uma das características da complexidade descritas pela ciência desde o século XIX (Cf. PRIGOGINE; STENGERS, 1984).

gelo, deserto, rios, ocupação urbana e nuvens, e todos em diferentes escalas. A reflexividade é chamada de albedo, e indica o termo da proporção de radiação refletida por qualquer superfície frente à quantidade total de radiação recebida por ela. Normalmente o albedo é função da composição do material e de sua cor – quanto mais claro, mais reflexivo, quanto mais escuro, mais absorvente. O albedo, em qualquer escala, como a superfície de mar, a cobertura vegetal, de gelo ou de nuvens, é um fator importante, mas incerto, para os termos que geram calor e diferenças de calor.

4.2.2 Escalas de Tempo e Espaço

Como essas equações são não-lineares, devido à natureza caótica do sistema climático em eterno desequilíbrio e composto por flutuações e turbulências, elas não podem ser resolvidas analiticamente e precisam ser discretizadas em equações diferenciais, o que faz com que elas apresentem soluções numéricas de forma aproximada (SUNDBERG, 2009, p. 163). Discretização é o método matemático que transforma qualquer processo contínuo em partes discretas, possíveis de serem analisadas matematicamente e por programas computacionais, mas que gera constantes aproximações. As equações das variáveis básicas (umidade, temperatura, pressão, vento) são “discretizadas”, no jargão científico, no tempo e no espaço. Como Michel diz:

As equações são resolvidas no tempo. Temos as quatro variáveis básicas para resolver as equações, umidade, temperatura, pressão e vento, e eu discretizo elas no tempo. Cada variável deve ser considerada em intervalos de tempo, para calcular as interações entre elas no tempo.

Desta forma, equações são resolvidas em diferentes intervalos de tempo escolhidos para o modelo (horas, dias, meses, estações, ou anos) e são resolvidas na escala diacrônica, cronológica, progressivamente, e ao mesmo tempo na escala sincrônica, com as resoluções das interações entre elas, em conjunto, a cada instante discreto.

Além da transformação do tempo contínuo em tempo discreto, há a transformação do espaço contínuo para o espaço discreto. A esfera planetária é modelada como uma série de pontos que formam uma grade quadriculada¹¹⁰ tridimensional, respeitando o suas coordenadas longitudinais e latitudinais. Isto indica a resolução do modelo em sua escala espacial, como vimos na seção 3.3.3. As equações primitivas que simulam os fluídos atmosféricos, que são espacialmente contínuos, são solucionadas numericamente de forma discreta em cada um dos pontos de intersecção da grade, isto é, em cada ponto que cada espaço discreto mínimo da grade encontra e intersecta seus vizinhos.

“Quanto menor a distância entre os pontos de grade, e quanto menor o intervalo de tempo, maior a resolução do modelo de simulação” (SUNDBERG, 2009, p. 164). Cada intervalo e cada célula da grade é o mínimo em que aquele modelo consegue trabalhar no tempo e no espaço. Dos primeiros modelos, com resolução de células da grade de 500km de cada lado, o que deixava ilhas do tamanho da Islândia invisíveis, hoje os cientistas trabalham com modelos de resolução muito mais alta, de dezenas de quilômetros, e com diversas camadas para cima na atmosfera e para baixo nos oceanos, assim como menores intervalos de tempo.

Toda redução possui ganhos e perdas. Os ganhos advindos da representação de um modelo como uma grade espacial com intervalos de tempo são a eficácia de sua resolução. Reduzir a superfície da Terra em uma grade fixa e a história contada pela simulação em intervalos de anos e estações permite que simulações mais complexas, do ponto de vista da quantidade de elementos e interações analisados, sejam produzidas, devido às limitações computacionais. Conforme houve o avanço da computação, os modelistas procuraram minimizar essas perdas decorrentes das reduções, aumentando a resolução dos modelos.

¹¹⁰ A grande quadricul longitudinal e latitudinal apresenta um problema de grande importância nos polos, pois nos polos norte e sul as linhas das coordenadas se encontram em um único ponto de diferentes coordenadas. Desta forma, os polos, diferente do resto da esfera planetária, não são representados como quadrados. Os modelistas precisam aplicar filtros para corrigir esta distorção. Outras soluções possíveis são discretizar a esfera em grades de quadrados triângulos equiláteros ou hexágonos, ao invés de quadrados. Para uma discussão técnica e introdutória ver os capítulos 12 e 13 do manual *An Introduction to Atmospheric Modelling*, de David A. Randall (2013), disponível online e gratuitamente em: <http://kiwi.atmos.colostate.edu/group/dave/at604.html> (acesso em junho de 2014).

Uma das maiores perdas da chamada “baixa resolução” dos modelos é que diversos processos que ocorrem em escala menor do que a utilizada pelo modelo, ficam de fora por causa da redução, o que gera a necessidade de inclusão das chamadas parametrizações.

4.2.3 Parametrizações

Além das equações das variáveis básicas, todos os modelos incluem o que os cientistas chamam de parametrizações. Elas também são equações matemáticas, segundo Michel:

São a mesma física, e mostram como as coisas funcionam dentro de cada célula, de acordo com as variáveis e os processos resolvidos.

(...) Extrapolam o que é impossível saber o que acontece dentro um célula.

Para Michel, parametrizações são “maneiras de representação” de processos locais ou globais que não podem ser resolvidos, ou porque ocorrem em microescala, muito abaixo da resolução do modelo ou porque não são completamente compreendidos. Tais processos, locais ou globais, são, de acordo com o jargão da ciência climática, *parametrizados*, isto é, incluídos no modelo na forma de descrições de processos para serem de alguma forma simulados pelo modelo, sem serem exatamente resolvidos – o que gera enormes incertezas para todos os modelos.

As nuvens, as partículas de chuva, o efeito dos aerossóis de queimadas florestais, ou como a radiação solar é absorvida e refletida por terrenos complexos ou encobertos por nuvens ou fumaça de queimada são fenômenos cujos processos físicos ocorrem em uma escala menor do que a resolução máxima de um modelo atual e seu comportamento em relação às dinâmicas climáticas globais são muito pouco compreendidos pela física.

As parametrizações dependem das variáveis básicas (umidade, temperatura, pressão, vento), isso significa que tais fenômenos são expressos matematicamente como funções dos parâmetros das variáveis básicas, os processos de larga escala resolvidos numericamente pela simulação. Ao ser resolvida a dinâmica das variáveis básicas em interação no tempo e no espaço, há uma tradução simultânea desses dados gerados para as parametrizações escolhidas, gerando efeitos que indicam de forma bastante simplificada que tipo de fenômenos ocorrerão, e de que maneira, dentro das células de grade.

Por esses motivos, como indicam os estudos entre modelistas (LAHSEN, 2005; SUNDBERG, 2007a, 2009), e meus próprios interlocutores, as parametrizações estão no centro de disputas entre os cientistas e entre seus diferentes modelos climáticos. Devido às incertezas, ao conhecimento inicial ou imperfeito sobre elas ou a sua alta complexidade para as resoluções dos modelos, não são encerradas em caixas-pretas e são constantemente problematizadas.

Michel: Parametrizações são maneiras de representação. Você escolhe isso. Podemos pegar um ensemble (conjunto) de modelos com parametrizações diferentes. Cada parametrização tem um peso diferente em cada modelo. Você escolhe o pior ou melhor para o seu objeto de pesquisa. Tenho que escolher o modelo que melhor representa a realidade.

(...) Elas são equações também. Para mostrar como as coisas funcionam. Elas são necessárias por causa da baixa resolução [dos modelos]. Elas mostram que, dependendo das variáveis básicas, ocorre isto ou aquilo.

(...) [Em um modelo regional], você usa a parametrização mais adequada para a região. Em um modelo global, você escolhe, e isso faz com que elas se deem bem em um local, mas não em outro.

Para desenvolver uma parametrização que dê conta do regime de chuva, das nuvens ou das queimadas na Amazônia, por exemplo, são necessários projetos interdisciplinares, interinstitucionais e até mesmo internacionais, que realizem pesquisas em campo na própria floresta. Ivan faz parte de um destes grupos – ao mesmo tempo em que participa do desenvolvimento de modelos climáticos globais.

Ele e diversos colegas seus participam de alguns projetos na Amazônia, que, por meio de torres de medição, instrumentos em contêineres móveis e sensoriamento remoto, medem localmente em diversos pontos da floresta os efeitos das queimadas e da poluição urbana na concentração dos aerossóis, que são micropartículas em suspensão, assim como estudam seus efeitos na formação microfísica das nuvens.

De acordo com Ivan, micropartículas em suspensão na atmosfera são geradores de nuvens, porque agregam vapor em gotas ou cristais de gelo. Elas podem ser originárias da própria floresta (microorganismos ou partículas liberadas pelas plantas ou pelas queimadas naturais), ou ter origem humana (poluição urbana ou queimadas para o desmatamento). Além disso, as nuvens têm um importante papel no balanço radiativo do clima global, porque refletem radiação solar de volta ao espaço.

As nuvens são apontadas como um dos fenômenos que mais trazem incertezas aos modelos climáticos, por serem pouco compreendidas pela comunidade científica e por serem fenômenos de pequena escala em relação às resoluções atuais. Em nossa primeira conversa, Ivan me explica a importância dos estudos sobre nuvens e aerossóis, devido às incertezas que eles representam aos modelistas:

O vapor d'água é o principal gás de efeito-estufa e sua concentração aumentou. Mas o aumento não foi direto, e sim porque esquentou, aumentando a evaporação. Isso foi devido ao aumento do CO₂ emitido pelo homem. Conseguimos afirmar que o homem esquentou o planeta.

Não está claro o papel das nuvens. Se o homem emitir mais ou menos, muda a quantidade de nuvens, muda a radiação, logo muda tudo. Se aumentar em quatro por cento a quantidade de nuvens, altera tudo o que já emitimos [desde a Revolução Industrial].

(...) Há campanhas na Amazônia financiadas por programas internacionais, utilizando aviões de pesquisa ingleses e dinheiro do Departamento de Energia dos Estados Unidos, além do dinheiro da FAPESP e do governo federal. Foram montados laboratórios dentro da floresta, com radares, instrumentos de coleta e medição e torres. Estudamos a diferença entre medições e observações em diferentes pontos ao redor de Manaus, entre sítios vento acima e vento abaixo, vindo da cidade

com a poluição urbana. Esses ventos urbanos vêm com compostos orgânicos voláteis, por causa da queima de combustível, cujo efeito não entendemos direito e nem são contabilizados em modelos climáticos.

Como me relata Ivan, em uma entrevista posterior, a chuva na Amazônia não é a mesma coisa que a chuva na Inglaterra. Muitos dos modelos faziam uso de parametrizações que descreviam nuvens e chuvas desenvolvidos e baseados em experimentos ou medições em lugares temperados, como a Inglaterra ou os Estados Unidos.

Há uma série de dificuldades relativas a estudar um fenômeno a ser parametrizado em uma região tropical, com os instrumentos e os dados existentes. Ivan diz que os próprios satélites, que são desenvolvidos e controlados pelas agências espaciais norte-americanas e europeias, não analisam muito bem as chuvas tropicais: “há uma dificuldade muito grande na região tropical. Os sensores dos satélites não captam tão bem a chuva nos trópicos. Os sistemas de precipitação são diferentes nos trópicos [em relação aos países centrais]”. Instrumentos de medição mediam, portanto, o local dos acontecimentos e o global de que tratam os modelos climáticos. Não há ciência sobre o global que possa ser produzida sem o local.

Ao chegar no campo, os pesquisadores devem enfrentar uma rede extensa de elementos humanos e não-humanos para instalar seus laboratórios. Além do que Ivana chama de “o caminho das pedras”, a burocracia para vistos de importação e para o transporte de seus instrumentos importados, os pesquisadores devem enfrentar os elementos que estudam. Como Callon (1986) relatou sobre os biólogos na baía de Saint-Brieuc, na França, enfrentando as larvas de moluscos que pesquisavam, Ivan me relata que:

Temos o problema constante da quebra dos instrumentos, que são importados dos Estados Unidos e da Europa. Os instrumentos são desenvolvidos para o clima temperado, e quando você instala ele na floresta amazônica, ele pifa por causa da alta umidade ou das chuvas fortes.

Uma vez instalado um laboratório na floresta, com contêineres e torres de medição, e feito os instrumentos funcionarem, os pesquisadores devem se associar constantemente a humanos e à própria floresta. Para captar o ar a ser medido pelo instrumento, devem instalá-los acima do dossel da floresta – o que explica a necessidade de torres – mas em um local que seja fácil de instalar.

Encontramos uma área vento acima, no norte de Manaus, numa área cedida pela Embrapa. A torre, de quarenta metros de altura, tem uma entrada de ar acima, com uma mangueira que puxa o ar e manda para o instrumentos. Temos um radar que faz medições para cima, traçando perfis verticais dos fluxos atmosféricos. Não dá para olhar no nível do chão, porque tem influência da floresta.

(...) No sítio vento abaixo, no sul de Manaus, instalamos num campo em que as árvores são baixas, então podemos medir no chão, sem torres, o vento já com a poluição urbana.

Em relação às diferenças de ventos antes e depois de passar por uma grande cidade como Manaus, o intuito da pesquisa, segundo Ivan, é compreender as diferenças entre emissões naturais e urbanas, realizar um esforço de discretizar o natural e o antropogênico. As partículas emitidas pela poluição urbana não são as mesmas que as partículas que chegam vento acima, em que há partículas de queimadas (antropogênicas ou naturais), emitidas pelas própria floresta e até mesmo areia do deserto do Saara, trazidas pelos ventos alísios que acompanham a rotação da Terra de leste a oeste.

Para Ivan, o projeto é analisar os impactos nas formações de nuvem e na radiação – base para desenvolver melhores parametrizações, que serão posteriormente incluídas em modelos climáticos brasileiros, substituindo as parametrizações antigas.

Portanto, muitas das parametrizações são equações baseadas em coeficientes e constantes que os pesquisadores obtêm após estudos observacionais e de campo, o que faz com que elas descrevam melhor ou pior processos de acordo com a região a ser modelada. Ao fazerem as escolhas de quais parametrizações incluir em seus modelos, os cientistas percebem que os resultados de simulações não sairão muito

bem para algumas regiões, indicando algum desacordo com as observações – uma parametrização que não descreve bem o regime de chuvas amazônicas irá simular um excesso ou falta de chuva em relação ao observado e medido por estações meteorológicas, por exemplo. Desta forma, eles ajustam o modelo, e constantemente melhoram as equações e comparam com as observações

Uma grande fonte de incerteza para qualquer equação desenvolvida por estudos empíricos advém da extensão das redes tecnocientíficas, como já mencionamos anteriormente. Regiões como a Amazônia ou o Centro-oeste brasileiro têm uma cobertura de estações de medição muito precária, faltam estações, há poucos dados confiáveis históricos, o que faz com que os pesquisadores tenham que extrapolar muitos os dados e criar redes internacionais para financiar a instalação de laboratórios na floresta.

No repertório da teoria ator-rede, de Latour, ou da sociologia da tradução, de Callon, extrapolar dados significa traduzir um pequeno número de entidades em porta-vozes que representam uma quantidade maior. Como nas comparações com a política que Latour e Callon fazem, um porta-voz eleito por um pequeno número de eleitores, mas que pretende representar toda uma população, certamente enfrentará problemas de representação. Parametrizações de processos de regiões com poucas medições e extrapolados são constantemente revistos por sua baixa eficácia.

Os modelos, portanto, operam constantes traduções dentro de traduções. As reduções matemáticas e aproximações das equações primitivas, ao serem resolvidas, servem de parâmetros para um outro conjunto de equações, as parametrizações, que, por sua vez, são traduções a partir de estudos de campo, empíricos ou observacionais.

Além disso, há as traduções que ocorrem entre os grupos de pesquisadores envolvidos na produção de modelos e parâmetros. Ao que concerne à formação das redes, Sundberg (2007a) afirma que parâmetros, produzidos por grupos pesquisando em campo alguns fenômenos, têm o papel de conectores, ou de “objetos fronteirios”. Eles criam redes entre esses pesquisadores e os modelistas em torno dos “pontos de passagem obrigatório” (CALLON, 1986), os modelos climáticos¹¹¹.

¹¹¹ Ver seção 3.6 para modelos climáticos como “pontos de passagem obrigatórios”.

Um parâmetro só é útil se for desenvolvido por um grupo com o intuito de poder ser traduzido para algum modelo climático – e os grupos constantemente traduzem seus interesses uns em relação aos outros.

Grupos, como o de Ivan, procuram desenvolver parâmetros de nuvens, chuvas e aerossóis de queimadas e florestas na Amazônia, e defendem a importância de seu papel na produção de modelos climáticos brasileiros, que devem levar esses processos em consideração se quiserem modelar o clima local. Ao criarem um problema, apontando às incertezas dos parâmetros disponíveis para esses fenômenos, em relação às inúmeras particularidades locais existentes, eles criam suas identidades e objetivos nesta rede mais extensa da modelagem climática (cf. CALLON, 1986).

As parametrizações, entidades incertas, controversas e, no entanto, indispensáveis, produzidas por redes de humanos associados a não-humanos, como instrumentos de medições e técnicas, nuvens, chuvas e partículas, inserem os modelos de volta à escala local. Enquanto as equações básicas são tratadas como fatos universais que se referem a fenômenos globais, as parametrizações reabrem constantemente as incertezas em torno das redes que são constituídas localmente, e em torno dos fenômenos, problemas e escolhas locais. As pretensões universalizantes dos modelos climáticos, de serem máquinas da verdade (*truth machines*) (ORESQUES et al., 1994) e representações fiéis dos fatos naturais são constantemente revistas. É o que frequentemente ocorre quando os modelos são levados de volta à sua condição de artefato.

4.2.4 Entre máquinas de verdade e ferramentas

Apreendendo a ciência apenas como conhecimento ou teoria, como alguns autores das ciências sociais fazem, é possível acompanhar a distinção entre modelos climáticos apreendidos por seus cientistas como “máquinas de verdade” (*truth machines*) ou como “modelos heurísticos”, como a descrita de certa forma por Oresques et al. (1994), e Shackley e Wynne (1996). Ambos os grupos de autores

defendem a ideia de que os modelos devem ser tratados somente como heurísticos, isto é, auxílios à compreensão da realidade, porém repletos de incertezas.

Por serem uma “representação da realidade”, nas palavras de Oreskes et al., simplificações de fenômenos parcialmente conhecidos, sua verdadeira verificação é impossível. Por tratarem de sistemas abertos, os modelos, “trabalhos de ficção”, apenas ressoam traços da natureza e nunca podem ser considerados como formas de acessar diretamente a realidade.

Shackley e Wynne percebem uma oposição entre as duas concepções entre os cientistas das redes de modelagem climática. Os autores afirmam que o distanciamento dos centros de produção, em relação aos usuários dos modelos, resulta uma diminuição do senso crítico ou uma menor capacidade de compreender suas incertezas e o subsequente tratamento dos modelos como produtores de verdade – como em uma espécie de encantamento.

Para eles, desenvolvedores de modelos sabem que os modelos não se correspondem diretamente a realidade. Desenvolvedores só se assemelham aos usuários publicamente, no sentido de tratar modelos como produtores de verdade, como estratégia de mobilização de redes e convencimento de aliados e financiadores.

A distinção entre usuários e desenvolvedores é utilizada para explicar o porquê de uns serem encantados pela simulação, trocando artefato por fato, e outros serem suficientemente críticos para não fazê-lo, devido ao seu envolvimento direto e ativo na produção. Essa distinção concede ao último grupo a vantagem de possuir uma racionalidade maior em relação à simulação devido ao seu papel atuante. Ao primeiro grupo, a distinção concede apenas um papel de passividade.

Lahsen (2005) critica fortemente essa visão e afirma que tanto desenvolvedores quanto usuários de modelos podem ser vítimas desse encantamento ao tratarem modelos como verdade, ou suas simulações como intercambiáveis com correspondentes diretos de fenômenos físicos, e narra os efeitos poderosos que as simulações exercem sobre os cientistas que as desenvolvem, assim como entre aqueles que as utilizam.

Para a antropóloga, a separação dos cientistas envolvidos nas redes em torno dos modelos climáticos em grupos bem definidos, com tropos bem separados,

“perto da produção”, “longe da produção”, é bastante problemática. A produção dos modelos, devido à complexidade inerente aos seus sistemas, é multissituada e as definições de papéis e identidades são heterogêneas. Sua crítica sustenta-se em sua apreensão da ciência como prática, e não apenas como conhecimento, a partir de seu trabalho etnográfico, o que lhe permite considerar o trabalho sobre os modelos climáticos dos ditos usuários tão ativo quanto o dos desenvolvedores.

A tipologia fixa, entre produtores e usuários, encontra respaldo na etnografia: Michel, por exemplo, se define como “um não modelista”, por usar modelos importados de instituições estrangeiras, em contraposição a seus colegas que desenvolvem o modelo brasileiro. Mas, para compreender suas práticas, a problematização dos papéis de atividade e passividade frente aos modelos feita por Lahsen é essencial.

Em suas atividades cotidianas, um usuário não denota passividade frente ao objeto científico, em uma relação de contraposição aos desenvolvedores de modelos. O pesquisador altera o modelo, trabalha com diferentes bancos de dados, parametrizações e as séries de simulações rodadas demandam atividade constante. O próprio Michel me informa: “Não sou modelista. Vejo o modelo que representa o que eu quero [estudar] e trabalho em cima dele”. Trabalhar em cima de um modelo significa que para adequar o modelo ao fenômeno que estuda, ele realiza diversas modificações ao modelo original e trabalha constantemente para que suas simulações funcionem sem problemas, como veremos adiante.

Não se trata de afirmar que divisões de trabalho entre os diferentes cientistas nestas redes não existam ou que seus trabalhos sejam idênticos. Analisando suas práticas, e não tomando identidades pré-definidas como ponto de partida, percebemos que elas são constantemente recriadas. Tanto produtores, quanto usuários de modelos climáticos agem ativamente na construção das simulações e são objetos de ação de outros elementos. Não apenas as identidades dos sujeitos humanos variam conforme suas relações em rede, mas também a rede das práticas varia conforme a atuação dos atores.

A virada da ciência como conhecimento para a ciência como prática, na maneira como as ciências sociais estudam-na, iluminou atividades, colaborações, formações de redes científicas, e toda a mobilização de instrumentos e técnicas,

anteriormente negligenciadas, quando a ciência era vista apenas como representação da natureza (SUNDBERG, 2007a). Sundberg (2009) aponta para a falta de um olhar afinado das análises sociais sobre a pesquisa de mudanças climáticas, que deixam de fora da análise máquinas e tecnologia, essenciais para a produção científica de modelos climáticos. Se reduzirmos a ciência climática a meras questões teóricas, desaparecem as associações entre atores humanos, como diferentes grupos de cientistas, e não-humanos, que possibilitam seu trabalho, como os computadores, a tecnologia e os bancos de dados.

A simplificação operada pela ciência climática na produção de seus modelos é definida por uma questão prática e técnica essencial. Os limites da “representação da realidade”, no jargão nativo, em um modelo esbarram na capacidade tecnológica: computacional e de programação. Computacional, porque os modelos são criados e rodados de acordo com a velocidade de processamento e a capacidade de armazenamento de dados, inclusive as condições do espaço físico em que os computadores são instalados. De programação, porque as equações só são analisadas por programas de computador depois de serem codificadas.

Portanto, qualquer distinção entre “modelos como verdade” e “modelos como heurística” assemelha-se a uma outra distinção mais ampla, de que fala Latour em *Jamais Fomos Modernos* (1994). Para Latour, as ciências humanas encontravam-se em um beco sem saída entre positivismo, que trata a ciência como uma forma de ter acesso direto à realidade física, e o relativismo, que trata a ciência como uma possibilidade, entre muitas, de ter algum conhecimento, parcial e relativo, sobre a realidade. E tanto as tipologias que dividem cientistas climáticos, quanto aquelas que problematizam as divisões, negligenciam os próprios modelos e as simulações como atores da produção científica. Para Latour, somente uma análise simétrica dos não-humanos e dos humanos pode nos desvencilhar da oposição entre o realismo ingênuo, que não percebe os enormes esforços humanos para a construção da ciência e o relativismo que jamais fala do real ou das coisas que possibilitam a produção científica.

4.3 MODELAGEM CLIMÁTICA COMO TECNOLOGIA

A tecnologia que permite a existência dos modelos, ao mesmo tempo constrange o trabalho dos pesquisadores. A operação diária dos elementos técnicos dos modelos, transformam todos os pesquisadores em atores desta modalidade de produção científica. Como nos diz Latour (2000), a extensão de qualquer rede científica sempre acompanha a de sua própria rede tecnológica – origem de seu termo híbrido *tecnociência*.

4.3.1 Computação

Ivan, em uma entrevista em 04 de dezembro de 2012, me diz que “para rodar [simulações] de milhares de anos, temos que simplificar muito, ou então não temos computadores suficientes”. Michel fala em termos de computadores falhando, *crashing*, ou modelos “explodindo”, termos para denotar falhas no processo computacional decorrentes da complexidade dos programas.

Um modelo climático, por gerar uma enorme quantidade de dados, é constantemente produzido e modificado com essas limitações presentes no cotidiano dos cientistas, o que faz com que eles sejam obrigados a constantemente modificar os dados e variáveis no modelo, de forma a simplificá-los. A capacidade computacional não permite que eles rodem milhares de anos de simulações, com o enorme conjunto de cálculos que as possibilitam, sem que reduções e traduções constantes sejam feitas.

Para rodar um modelo, eles fazem uso de algum modelo de supercomputador, necessário para processar a quantidade gigantesca de cálculos e dados computacionais em tempo suficiente para que as pesquisas ocorram - muitas das rodagens das simulações demoram semanas ou meses para serem processadas. Além da necessidade de processamento veloz, é preciso haver uma enorme capacidade de armazenamento, para a quantidade de dados gerados pela simulação.

Essas supermáquinas exigem acordos e parcerias com instituições diferentes, para o financiamento, a compra e sua instalação. Além disso, uma vez comprada e

instalada uma máquina com capacidade suficiente de velocidade e armazenamento, seu acesso não está automaticamente garantido. Há disputas pelo tempo de uso, entre os diferentes projetos da instituição, com limitações de tempo para cada pesquisador, e há questões de infraestrutura a serem enfrentadas.

Andre: Você utiliza supercomputador para rodar seus modelos desde quando? Qual máquina utilizava aqui?

Michel: Em meu doutorado, fora do Brasil, usava um modelo de circulação geral atmosférico para o globo e fazia estudos de dinâmica climática regional para a América do Sul. Fiz amizade com o controlador do supercomputador, o técnico responsável, e sempre estourava meu tempo, porque tínhamos apenas uma hora de processamento por mês.

(...) Quando voltei para esta Instituição, não tínhamos um supercomputador. Fizemos uma parceria com a [Universidade A] para utilizar a máquina deles por acesso remoto. Eles tinham um dos supercomputadores mais utilizados do mundo.

Em sua instituição, ainda não existe um supercomputador para a sua área, e ele atualmente utiliza um *cluster* para rodar os modelos que utiliza.

Andre: Qual a diferença entre essas máquinas?

Michel: O supercomputador é uma máquina só, com um processador interligado. O mini-supercomputador é como um pedaço dela, tem a mesma estrutura, só que menor. O cluster, que é o que usamos aqui, são diferentes módulos de processador, você vai juntando oitenta, cem módulos de CPUs, como as de um computador normal, e constrói o que você quiser, inclusive um supercomputador.

Andre: Como vocês compram isso?

Michel: Compramos o cluster e o “minisuper” com o dinheiro da reserva técnica de nossos projetos temáticos e pedimos dinheiro para o Ministério da Ciência,

[Tecnologia e Inovação], além do dinheiro que temos em nossos projetos de pesquisa.

Há limitações quanto ao financiamento. Eles haviam pedido anteriormente centenas de milhares de dólares para um cluster para sua instituição, mas a FAPESP não autorizou. Eles estão com um cluster atualmente que custou metade do valor negado. Ele cita, como uma das razões, a compra do supercomputador Tupã de 40 milhões de reais pela FAPESP e pelo MCTI, instalado no Inpe, e a consequente pressão da FAPESP sobre os pesquisadores de mudanças climáticas, para que utilizem o Tupã.

Andre: como se dá a compra desses clusters que vocês usam aqui?

Michel: Os vendedores das empresas oferecem descontos e escolhemos baseado no custo e na capacidade de processamento. Para a instalação, analistas em computação fazem isso por nós e apresentam as melhores opções entre custo e capacidade.

O maior problema dessas máquinas é que elas consomem muita infraestrutura e energia, o que é um problema. Isso é sempre frisado nas reuniões do Departamento. Precisamos de salas para instalá-los, assim como forro e piso especiais, cabeamento, ar-condicionado, e os pesquisadores têm que saber de nossas limitações físicas.

(...) O Tupã, por exemplo, no começo só conseguia processar com trinta por cento de sua capacidade. Não havia energia suficiente para fazê-lo funcionar. A Eletropaulo teve que instalar um linha de energia específica para poder suportar a energia que ele consome.

Andre: Mas se a FAPESP está pressionando para usá-lo e vocês não têm um supercomputador, por que não o usam?

Michel: Somente trinta por cento do tempo de processamento [do Tupã] pode ser usado por pesquisadores de fora do Inpe e o problema é que precisamos todos de muito tempo para rodar [os modelos]. O Tupã está disponível, mas não está. Poucos têm usado.

Não está muito claro como eles darão support (apoio técnico) de forma prontificada às demandas.

O pesquisador tem um problema inicial, o de como simular, como realizar experimentos virtuais com os fenômenos que estuda. Para escolher a forma de simular um modelo e escolher uma máquina capaz de rodar um modelo com alta demanda de capacidade computacional, ele precisa fazer alianças, interessar outras instituições a se unirem a ele.

Na rede em que constrói para rodar experimentos simulados, ele busca alianças que lhe garantam ganhos materiais, como o acesso e o suporte técnico ao uso de uma máquina, a instalação e uso do próprio modelo. É preciso *interessar*¹¹², buscar associações com instituições de financiamento de pesquisa, instituições que permitam o uso de supercomputadores por pesquisadores de fora, ou que façam a venda de tais máquinas, associações pessoais com técnicos de laboratórios, e também com seus colegas locais, devido às necessidades materiais de instalação, além da distribuidora de energia local, devido à extensão da rede elétrica.

Essas alianças afetam diretamente a forma como pesquisador produz seus experimentos virtuais e elas são centrais para as escolhas entre diferentes modelos disponíveis.

Ivan e Michel demonstram isso ao relatar os motivos das escolhas de modelos climáticos. Ivan narrou a história da escolha dos primeiros modelos climáticos importados para o Brasil pelo Inpe nos anos 1990. Cabe notar que ele não participou desta história, pois nos anos 1990 estava envolvido em pesquisas em outra área da física, mas a conhecia desde seu envolvimento com a ciência climática e pesquisadores sêniores nos anos 2000.

Andre: De onde vieram os modelos que vocês utilizam [na Instituição A]?

Ivan: Os primeiros modelos foram desenvolvidos nos anos 1950 e 1960 após a invenção do primeiro supercomputador

¹¹² Tratamos de *interessar* nas definições de Michel Callon (1986) na seção 2.1.

em 1949. Eram equações numéricas de dinâmica dos fluidos, supersimplificado.

Os modelos são sempre filhos de outros. O primeiro modelo brasileiro foi desenvolvido a partir do modelo do COLA [Center for Ocean-Land-Atmosphere Studies], nos Estados Unidos. Foi um programa dado por eles. Os pesquisadores brasileiros aprenderam a usá-lo e levaram-no para o CPTEC [no Inpe] recém-fundado.

Andre: Por que escolheram esse modelo e não outro?

Ivan: Para os primeiros modelos, eles foram atrás de várias universidades nos anos 1970 e 1980. E utilizaram [o modelo A] do lugar que os aceitou. Modelos são códigos e equações em conjunto, e os pesquisadores pegaram sem pagar por esse conjunto.

Michel, em contrapartida, havia participado em primeira mão da importação de um modelo nos anos 1990.

Andre: Qual a motivação para a escolha deste modelo e não outros? Você descartou outras opções? Como se dá essa escolha?

Michel: Fizemos uma cooperação com a [Universidade B], do [País B]. Fiz um curso de dois meses lá, para trabalhar com [o modelo C da Instituição C do País C]. Um dos pesquisadores de lá era doutor pela [Universidade D], do [País C], e o convidei para instalar o modelo [C] aqui.

Depois fiz um curso no [País C] para trabalhar com esse modelo e por isso o trouxe. Levei dois alunos comigo para fazer suas teses de doutorado.

A motivação pela escolha do modelo da Instituição do [País C] foi o suporte da [Instituição C] ao uso gratuito do modelo que eles ofereciam até você ficar acostumado ao modelo deles. Além disso, é um modelo aberto. Você pode trabalhar em cima desse modelo. Optamos pelo modelo regional, que torna possível fazer a previsão de clima regional. Somente grandes centros do mundo detinham essa técnica [de previsão climática regional]. Mas nós não fazemos previsão além dos treinamento que damos a nosso corpo discente.

“Aprender a usar”, “ficar acostumado” com um modelo novo referem-se tanto a conhecer quais os tipos de parametrizações que o modelo utiliza, como elas funcionam com as diferentes variáveis e interações, mas também seu código de programação. Além do conjunto de equações e parametrizações, que compõe o que os pesquisadores chamam de “a forma de representação dos fenômenos naturais”, os códigos são parte essencial dos modelos; são centrais nas escolhas que os pesquisadores fazem entre quais modelos utilizar.

4.3.2 Programação

Há uma série de associações que o pesquisador deve fazer com elementos de computação para conseguir dar início à sua pesquisa. Além do financiamento, instalação, suporte técnico e infraestrutura, que exigem que o pesquisador busque alianças institucionais, a fim de obter dinheiro, apoio especializado científico e técnico, energia elétrica e condições físicas de instalação, a própria máquina e sua programação permitem e constroem seu trabalho. Acostumar-se e aprender os detalhes da programação de um modelo exige intenso treinamento.

Michel: Demorava um mês e meio para rodar a simulação. Ficávamos fazendo o que chamamos babysitting, cuidando do programa, passando madrugadas observando o modelo sendo rodado, voltando pela manhã para resolver problemas com crash. Checando erros que faziam com que o programa parasse de rodar. Quando isso acontecia, tínhamos que voltar de onde ocorreu o erro e recomeçar a rodar.

Um modelo climático necessita de um meio material para que a experimentação virtual ocorra; porém, a materialidade não é um dado já pronto ao início da pesquisa. Além das questões de eletricidade e infraestrutura de instalação, uma máquina somente é capaz de rodar um modelo depois de ser programada para tal e a partir do momento em que o modelo é traduzido em códigos computacionais.

“Modelos são códigos e equações em conjunto”, segundo o relato de Ivan acima. Eles são compostos das equações físicas e suas interações matemáticas, fórmulas, bancos de dados; dos supercomputadores, e sua estrutura física, módulos de processadores, energia elétrica, capacidade de armazenamento e memória; e também dos códigos, *bits*, armazenados e processados pela máquina, e que permitem que um programa instalado em um computador de capacidade compatível possa processar seu conjunto de equações – calculá-las e resolvê-las, gerando a simulação discretizada no tempo e no espaço.

Os códigos de programação permitem que programas que irão rodar as simulações compreendam as equações traduzidas em alguma linguagem. Para traduzir as equações em códigos computacionais, os pesquisadores utilizam o FORTRAN, uma linguagem bastante popular de programação computacional e cujo nome vem de *formule translator*, ou tradutor de fórmulas.

Essa linguagem computacional permite que os pesquisadores expressem seus problemas em linguagem matemática, em uma sintaxe próxima à da álgebra, comum nas equações físicas – uma das razões para a sua popularidade entre os pesquisadores (SUNDBERG, 2009, p. 174). O FORTRAN permite que o programa leia códigos traduzidos, relativos aos cálculos matemáticos, mas também o código espacial, que traduz mapas topográficos em linguagem computacional e permite que mapas possam ser gerados, associando a topografia, baseada em mapeamentos internacionais, coordenados por organizações internacionais, às simulações.

Ele também funciona como um compilador dos códigos, pois todas as interações entre as variáveis, as equações e parametrizações, e suas discretizações no tempo e no espaço geram “milhares de linhas de código”, que necessitam de grandes capacidades de armazenamento, segundo Michel, da ordem de *terabytes*.

Sendo a linguagem de programação mais eficiente ou não, o fato de o FORTRAN ser utilizado por modelistas na programação dos modelos faz com que seu uso seja mantido pelos usuários e qualquer um que desenvolva um novo modelo baseado em um anterior.

“Os modelos são sempre filhos de outros”, como afirma Ivan, e não apenas porque carregam consigo um certo conjunto de equações, mas também por conta de seus códigos e sua sintaxe. Michel, em nossas entrevistas, como vimos, relata a

centralidade dos códigos e da programação para a sua prática de modelagem, mesmo que sua definição de modelos trata apenas do conjunto de suas equações.

Sundberg encontrou entre modelistas de clima e meteorologia a concepção dos modelos como equações, cabendo aos códigos um papel secundário (2009, pp. 172–173). Ela nomeia de “perspectiva de construção de representação” a concepção de pesquisadores envolvidos no desenvolvimento de modelos e que enfatizam sua base teórica física, nomeadamente as equações e as parametrizações, dando mais importância para a estrutura teórica e suas diferentes componentes do que para a prática da programação e os códigos.

Essa perspectiva é apoiada na situação em que códigos costumam não fazer parte do lado público da modelagem climática e são pouco discutidos em artigos ou capítulos científicos publicados e na apresentação pública dos modelos. Modelos são constantemente definidos quase que somente pelas descrições físicas dos processos simulados - atmosféricos, oceanos, terrestres, biogeoquímicos, antrópicos – e suas descrições matemáticas.

Como o Quarto Relatório de Avaliação (AR4) do IPCC define: “modelos climáticos são representações matemáticas do sistema climático, expressos como códigos computacionais e rodados em computadores poderosos” (SOLOMON et al., 2007, p. 600). Para o relatório, os modelos *são* as representações matemáticas da realidade, o sistema climático, enquanto códigos são apenas maneiras de expressá-los, ferramentas.

Em outros trechos, o relatório reafirma essa concepção, e em que códigos nem mesmo são mencionados. “Modelos climáticos são baseados em princípios físicos bem estabelecidos e têm demonstrado que reproduzem traços observados do clima recente (...) e de mudanças climáticas do passado (...)” (p. 591).

Sobre como os modelos são construídos (p. 596), o relatório do IPCC afirma que a base fundamental sobre a qual eles são construídos pouco mudou nos últimos vinte anos – e mencionam, como base fundamental, “leis físicas fundamentais”, como a lei newtoniana do movimento, e “aproximações físicas” e “discretizações matemáticas” – isto é, as equações, “representações do sistema climático”. A única menção à computação refere-se aos constrangimentos que restringem à resolução das equações discretizadas.

Podemos observar definições semelhantes em artigos publicados em revistas científicas, ou relatórios científicos, em que a programação computacional é excluída das definições de modelos climáticos, por exemplo:

As ferramentas comumente adotadas para obter e avaliar projeções climáticas passadas e futuras são os modelos de clima, que podem ser: Modelos Globais Atmosféricos (GCMs) ou Modelos Globais Acoplados Oceano-Atmosfera (AOGCMs). Esses modelos numéricos provêm de uma visão tridimensional do sistema climático, descrevendo os principais processos físicos e dinâmicos, assim como as interações entre as componentes do sistema climático e os mecanismos de retro-alimentação (feedbacks) entre os processos físicos (MARENGO, 2006, pp. 19–20).

Modelos climáticos globais acoplados atmosfera-oceano (AOGCMs) são as ferramentas de modelagem tradicionalmente usadas para gerar projeções e cenários de mudança climática (Mearns et al. 2003). Modelos globais fornecem: (a) condições iniciais – umidade do solo, temperaturas da superfície do mar, gelo marinho; (b) condições meteorológicas laterais (temperatura, pressão, umidade) a cada 6-8 horas; (c) resposta em larga escala às forçantes (em centenas de quilômetros) (MARENGO, 2007, p. 9).

Um modelo complexo do sistema Terrestre acopla a o sistema climático físico com ciclos biogeoquímicos (por exemplo, o ciclo do carbono, os gases de efeito-estufa atmosféricos e sua química, microfísica de aerossóis, dinâmicas de ecossistemas e hidrologia, incluindo influências antropogênicas). Ele inclui interações chave, físicas, biológicas e químicas (NOBRE et al., 2010, p. 1391).

Entretanto, notamos que os códigos fazem parte da forma como os próprios cientistas climáticos definem seus modelos – o que está de acordo com o que Sundberg notou em sua etnografia. Ao relatar como escolhem os modelos, os cientistas mencionam códigos tanto como as equações físicas. “Modelos são códigos e equações em conjunto, e pegaram sem pagar por esse conjunto”, no relato

de Ivan, ou na necessidade de Michel de trazer pesquisadores de fora para realizar treinamentos de programação.

Códigos fazem parte dos problemas cotidianos dos cientistas, que dedicam boa parte de seu tempo a programá-los. Um mesmo modelo, com o mesmo conjunto de equações e parametrizações, pode ser expresso por diferentes códigos, de acordo com Sundberg. Da mesma forma, modelos diferentes, mas que possuem conjuntos de equações e descrições de processos bem semelhantes ou quase idênticos, somente são diferenciados quando seus diferentes códigos são comparados. Esta ambiguidade aparente faz com que qualquer redução da identidade de um modelo apenas à sua formulação teórica seja insuficiente (Sunberg, 2009, p. 173).

O fato de os modelos utilizados no Brasil serem abertos, como o modelo usado por Michel, torna-os possíveis de terem seu código alterado para adequar-se às necessidades dos pesquisadores. Código, deste modo, é linguagem. Uma linguagem que permite a escrita de equações e parametrizações essenciais para algum fenômeno específico, como o clima regional na América do Sul, alterando o código original do modelo¹¹³.

Michel: Parametrizações são maneiras de representação. Você escolhe isso. Podemos pegar um ensemble (conjunto) de modelos com parametrizações diferentes. Cada parametrização tem um peso diferente em cada modelo. Você escolhe o pior ou melhor para o seu objeto de pesquisa.

Mais uma vez, podemos afirmar que qualquer tipologia fixa, que divide modelistas e usuários em lados opostos da ação, cabendo somente aos primeiros um

¹¹³ Pela economia geral do texto e devido às limitações do tempo de pesquisa, este projeto não abordou algumas questões importantes relativas à programação. Sugerimos como necessária uma futura investigação que se atente à seguinte pergunta: como e em quais momentos a linguagem computacional afeta aquilo que é narrado por meio dela, isto é, a simulação do real por meio dos modelos climáticos? De que forma a linguagem, mediadora da pesquisa científica climatológica e da engenharia de programação, transforma-se em intermediária, mera ferramenta de escrita e passível de não ser discutida publicamente. Para uma discussão etnográfica mais aprofundada sobre códigos computacionais, programação e desenvolvedores de modelagem climática, ver a excelente discussão de Easterbrook & Johns, 2009.

papel ativo na produção científica, é problemática. As máquinas e os códigos computacionais que permitem-nas serem operadas fazem tanto modelistas como usuários agirem. De acordo com o repertório de Callon e Latour, a ação é sempre distribuída entre as entidades da rede.

Sozinhas, a programação em uma máquina já instalada em um recinto propício e a tradução de um modelo em códigos não garantem que a experimentação simulada ocorra automaticamente. Os *crashes*, *bugs* e “explosões” das máquinas e dos programas, os erros de codificação e armazenamento de dados fazem os atores humanos dedicarem parte de seu tempo de pesquisa trabalhando na programação, traduzindo constantemente uma rede complexa de dados para versões estatisticamente mais simplificadas.

Códigos são trabalhados a todo o momento, com o intuito de resolver problemas de resolução numérica de equações não-lineares; resolver os problemas de software e hardware, os *crashes* e *bugs* do programa, constantemente sobrecarregado pelo imenso volume de dados; deixar alguns processos mais simples, ou mais eficientes – isto é, que demandem menos capacidade computacional, sendo processados de forma mais veloz.

Michel: Uma previsão de vinte e quatro horas ou menos te dá noventa e sete por cento de certeza. Quanto maior o tempo [simulado], menor a certeza ¹¹⁴. O modelo climático simplifica. Não muda muito de um para o outro. Muda a fonte de dados. Como o custo aumenta [para simular a longa duração], então você simplifica o banco de dados para as médias, que são mais simples.

É uma questão de computação. Fazemos ajustes numéricos para que o modelo não exploda, isto é, pare de funcionar. Fazemos ajustes nos dados, nas equações de transformação. Você modifica numericamente a representação das equações do complexo meteorológico ao simplificado climatológico. Você não muda as equações em si e sim as [variáveis] de tempo.

A vantagem do modelo regional é que você pode aumentar a resolução sem ter que aumentar a quantidade de dados e a

¹¹⁴ “Quanto maior o tempo [simulado], menor a certeza”. Quanto mais variáveis, menor a previsibilidade, o que nos remete novamente à “ciência do complexo” e à teoria do caos. Ver nota 84, seção 4.2.

capacidade computacional. Um modelo regional, pela maior resolução, tem uma física mais refinada, melhor representação dos processos. Mas pelas leis das massas, não podemos gerar massa dentro de uma região, sempre dependemos da massa do modelo global de que são baseados. Eles são sempre escravos do global. Temos que fazer transformações físicas das massas nas bordas do modelo regional, nas fronteiras com o global, há constantes problemas de dinâmica e interações com o global ao redor. Mas eles estão fadados a morrer, com a melhora da computação, com computadores mais velozes e com mais memória. Vai ser possível rodar o global para analisar o regional.

Ao afirmar que eles “(...) não mudam as equações em si”, Michel tenta frisar um ponto que percorre nossas entrevistas, sua afirmação de que a física dos modelos é a mesma. Dependendo das escolhas do modelo, das escolhas de cada grupo de pesquisa entre quais parametrizações adotar e das formas como eles trabalham os códigos, que permitirão a eles rodar um modelo de forma mais funcional, livrando-se dos erros e impedindo que o modelo “exploda”, a física torna-se “mais refinada”, chegando a uma “melhor representação”.

Como já notamos anteriormente, há uma visão entre os pesquisadores que para a chamada boa ciência, a boa física e a boa matemática são as mesmas, o que mudam são as capacidades de representação devido às limitações tecnológicas. Não mudam as “equações em si”, mas sim “as equações de transformação”, que simplificam numericamente o complexo dos fenômenos naturais. Nesta perspectiva, física e matemática aparecem como fatos (*matters of fact*) universais e desprovidos de sujeitos, cabendo aos códigos e equações de transformação o papel de artefato, ferramentas que permitem que os cientistas possam operar dentro de suas limitações.

Entretanto, como os próprios pesquisadores demonstram, há um número muito alto de escolhas, muitas vezes contraditórias entre si, muitas vezes incertas. Temos o que Ivan me disse sobre as diferentes opções:

Ivan: o modelo vira o filho da pessoa. Ativamente temos três ou quatro modelos globais diferentes e um número maior de regionais. Há muitas brigas e disputas de ego

entre os modelistas. Os modelistas não querem usar os modelos alheios por conta da química de um que não está no outro.

“Química de um”, neste caso, é bastante diferente da “mesma física”. Parametrizações, resoluções, bancos de dados, transformações e codificações são escolhidas. Como os modelos fazem uso de uma infinidade de equações incertas e em disputa e soluções de problemas de códigos, temos a situação recorrente em que a ciência é retraçada à matéria das controvérsias (*matters of concern*), às histórias de sua composição por coletivos de associações.

A ambiguidade entre fatos e artefatos é operada a todo o instante, em que determinados elementos são encerrados em caixas-pretas e fatos universais, como as equações físicas primitivas e as variáveis inseridas a partir dos bancos de dados internacionais, enquanto outros são constantemente reabertos e retrabalhados, como os códigos e as parametrizações. Desta forma, nas arenas públicas da ciência, modelos são constantemente divulgados como sendo conjunto de equações em que, devido às incertezas assumidas, as parametrizações têm papéis importantes, enquanto que códigos e problemas de computação nem mesmo são mencionados e não passam pelas tradicionais revisões por pares.

4.3.3 Ajustes e afinamentos

Os modelos são criados e rodados comparando-se constantemente o que foi observado no passado com o que o modelo informa, de forma a torná-los mais fiéis aos dados. Quanto mais fiel ao passado, maior a confiabilidade no modelo para, então, traçar cenários futuros. Segundo Michel, “os modelos respondem bem à realidade observada, então extrapolamos os valores para o futuro, com algum grau de certeza”.

Entretanto, em um modelo repleto de variáveis, relações entre elas, e constantes aproximações e reduções, a complexidade dos elementos e relações é tamanho que pode gerar um certo tipo de descontrole e uma menor conformidade entre as simulações e as observações. A partir do momento em que os pesquisadores rodam

as simulações, diversas situações de descontrole podem acontecer. Por exemplo, o oceano e a atmosfera simulados podem vagar à deriva (*drift*) descontroladamente em relação ao observado - como quando partes do oceano simulado se transformam em blocos sólidos de gelo (LAHSEN, 2005, p. 900). Isso ocorre normalmente porque as equações não-lineares são traduzidas em cálculos aproximados lineares e discretizados, conforme explicitamos na seção 4.2.1, o que pode gerar processos imprevisíveis e não desejados, como a retroalimentação (*feedbacks*) entre aproximações que levam ao erro.

Se, de acordo com a teoria do ator-rede, tradução é qualquer atividade que transforme elementos não-equivalentes em equivalentes, então a ciência opera constantemente com erros de tradução, quando situações e elementos mantêm-se não-equivalentes.

Outra razão é que normalmente devido às constantes alterações feitas no conjunto de equações e códigos dos modelos, muitas vezes os pesquisadores não sabem exatamente como o resto do modelo vai se comportar – devido à sua enorme complexidade e o fato de modelos serem produzidos por grupos multissituados e por inúmeros pesquisadores e nenhum indivíduo ter conhecimento completo do sistema (LAHSEN, 2005, pp. 913-18).

Gustavo, pesquisador do Inpe, e que participa de um mesmo grupo de pesquisa que Ivan, em entrevista em fevereiro de 2013, ao defender uma maior independência dos modelistas climáticos brasileiros frente a modelos estrangeiros, afirma que “o problema de importar um modelo é que ele chega pronto. Você não sabe mais o que está acontecendo quando altera um pedaço”, gerando erros muito difíceis de serem controlados ou corrigidos. Vimos o mesmo tipo de relato na CONCLIMA, na defesa dos pesquisadores por modelos que sejam elaborados com todas as componentes presentes, pois os acoplamentos geram muitos erros (seção 4.3).

Ao adicionar um novo processo ou modificar um código, para corrigir esses erros, alterações indesejadas podem acontecer. Sundberg escreve, baseada em suas entrevistas, que:

*(...) [Mudar] algo na formulação conceitual de uma parametrização normalmente impacta o que acontece em outra parametrização. O trabalho de desenvolvimento, deste modo, envolve trabalhar com o código numérico e as equações simultaneamente para lidar com consequências inesperadas e indesejadas*¹¹⁵ (SUNDBERG, 2009, p. 168).

Existem diferentes ajustes numéricos nos dados, nas equações, que os cientistas utilizam para afinar (*tuning*) os coeficientes e constantes das equações, para fazer com que as simulações se conformem às observações. Ivan, ao descrever o trabalho de criar parametrizações em um modelo, diz:

O modo como incluímos aerossóis e nuvens no modelo depende de como melhoramos as equações e comparamos com as observações. Vamos na tentativa e erro, na unha.

Ivan defende seu trabalho de campo na Amazônia como forma de melhorar as componentes de seus modelos.

Por isso o trabalho de campo é importante. Os modelos têm que fazer pontes entre diferentes escalas, e não se pode avançar sem as informações do pequeno. Os rios na Amazônia, por exemplo, complicam muito. Eles dão efeito de brisa.

Nesta hora, ele abre um mapa da superfície da Amazônia obtido por sensoriamento remoto e disponível no website de mapas do Google. Ao aproximar a imagem até um trecho com rio, ele mostra a fonte de um dos problemas mais comuns dos modelos climáticos:

¹¹⁵ No original: “to change something in the conceptual formulation in one parameterization often impinges on what happens in another parameterization. Development work therefore involves working with the numerical code and the equations simultaneously to deal with unexpected and unwanted consequences”.

Olhe como as nuvens se acumulam em cima da área de floresta e não em cima dos rios. Isso é pelo efeito da brisa dos rios. Os rios na Amazônia são tão grandes que geram brisa, pela diferença de temperatura, por causa da diferença absorção de radiação, como acontece entre o mar e o litoral. Isso altera a radiação, porque as nuvens refletem radiação solar com uma intensidade diferente dos rios, que são escuros e absorvem mais. Em um modelo de baixa resolução, cada célula de grade representando a Amazônia não inclui rios, que são muito pequenos, só a floresta. Isso dá muita diferença no resultado.

Um conjunto de não-humanos, nuvens, florestas, rios amazônicos, equações, se apresentam como barreira aos modelos, que, após longos esforços de tradução, podem ser soluções a antigos problemas de conformidade de modelos às observações. Novas parametrizações precisam ser desenvolvidas para descrever processo de formação de nuvens e de reflexo e absorção de radiação para essa região específica. O território pouco explorado da Amazônia brasileira, como vimos anteriormente, gera constantes incertezas para a ciência produzida em outros locais, e que se pretende global e universal. Apenas com as “informações do pequeno”, e as “pontes de escala”, é que Ivan diz que confia em seus modelos, e “nos ventos dele”, em sua brisa.

Sundberg (2009) também diz que os seus informantes relatam estes ajustes e melhorias como um processo de tipo “tentativa e erro”, como o referido por Ivan. Ela também relata que, muitas vezes, os cientistas preferem simulações mais adequadas aos dados observados por meio de ajustamentos e afinamentos, do que simulações mais adequadas às observações em relação à teorias e equações físicas mais robustas.

Os ajustes de fluxo, os afinamentos, as tentativas e erros e as mudanças nas equações para ajustá-las às observações, demonstram, como Lahsen (2005), Sundberg (2006) e Easterbrook & Johns (2009) também perceberam, a ambiguidade existente entre “boa física”, termo que os pesquisadores utilizam para se referir aos processos descritos corretamente por equações, e o “bom resultado”, quando, ao serem incluídas no modelo, as equações devem ser modificadas em prol do todo da

simulação¹¹⁶. Uma resolução alta, um acúmulo de dados muito grande na escala de tempo, ou processo físico bem descrito podem fazer o modelo “explodir”, parar de funcionar, ou a simulação piorar em relação ao observado.

Quando os dados observacionais são incompletos ou pouco confiáveis para poderem servir como base de ajustes do modelo, os modelistas fazem uso dos próprios resultados dos modelos para extrapolá-los e deixar os bancos de dados menos grosseiros, em relação a regiões com estações muito dispersas geograficamente (LAHSEN, 2005, pp. 899-900). Lahsen aponta para a circularidade que caracteriza a modelagem climática, que produz e valida seus próprios dados – processos que idealmente deveriam ser separados.

Sob o ponto de vista da ciência teórica ou abstrata, os falseamentos, ajustes e aproximações levam o cientista para longe da “melhor física”.

Trata-se de uma tarefa primária da modelagem de simulações a tradução de equações de “móveis imutáveis” isolados (...) para códigos computacionais mais mutáveis. Isso produz incertezas em suas interações com o resto do programa de computador, e torna-se praticamente auto-evidente o fato de que a portabilidade é uma característica importante das parametrizações de um ponto de vista da prática, uma conclusão impossível de se obter, se os modelos de simulações são vistos principalmente como construções teóricas¹¹⁷ (SUNDBERG, 2009, p. 175).

¹¹⁶ Sobre modelistas do centro britânico Hadley Center, Easterbrook & Johns escrevem: (...), há normalmente um trade-off entre melhorar o desempenho do modelo de reproduzir variações meteorológicas e climáticas observadas, contra melhor a validade científica dos esquemas físicos. Os modelos devem ser afinados empiricamente ajustando-se os esquemas de parametrizações, porque tanto os modelos como as parametrizações são apenas aproximações dos processos físicos reais. Tais afinamentos significam que melhoras que são mais justificáveis de sob ponto de vista científico, às vezes pioram o desempenho do modelo. Os cientistas às vezes falam dos modelos obtendo uma boa correspondência das observações pelos motivos errados (2009, Sec. 4.2, grifo dos autores).

¹¹⁷ No original: “It is a primary task in simulation modeling to translate equations from being isolated “immutable mobiles” (...) into more mutable computer code. This produces uncertainty in their interaction with the rest of the computer program, and it becomes practically self-evident that portability is an important characteristic of parameterizations from a practice viewpoint, but this conclusion is impossible to draw with a view of simulation models as principally theoretical constructions”.

Uma das lições a se obter a partir do repertório de Bruno Latour, é que quaisquer problemas científicos são também problemas tecnológicos - isto é, tecnocientíficos (2000, pp. 392-395). Laboratórios são constituídos como redes tecnocientíficas, em que máquinas e instrumentos são tão essenciais para o trabalho experimental quanto sistemas de classificação, cálculos e modelos teóricos, e de acordo com estes relatos, podemos retratar as práticas de modelagem climática como laboratoriais.

4.4 MODELAGEM CLIMÁTICA COMO LABORATÓRIO

Em uma conversa com Michel, mencionei o momento de que ele havia me relatado ter importado um modelo de uma instituição estrangeira devido aos suportes tecnológico e científico oferecidos, além dos intercâmbios e parcerias institucionais. Ao tornar-se ciente de meu argumento, de que alianças sociais são indispensáveis para qualquer construção científica, ele procurou me corrigir: “preciso esclarecer uma coisa que ficou confusa da última vez. Eu vou escolher meu modelo, ou melhor, eu tenho que escolher o modelo que melhor representa a realidade”.

Ao ter frisado a aliança social na produção de sua ciência, acabei mantendo de fora os outros tipos de alianças que o pesquisador deve construir para que seu modelo funcione. Para determinar quais equações, parametrizações e os códigos que os modelistas vão escolher, é necessário um tipo de associação que resista às comparações e testes em relação às diversas medições obtidas ao redor do mundo – de outro modo, as simulações teriam pouca utilidade prática e científica. Este vínculo, entre o modelo e o que os pesquisadores chamam de realidade, é um conjunto de associações com o coletivo de redes científicas para além daquela que cria o próprio modelo.

Quando Michel tenta cortar os vínculos humanos para explicar a força de seu modelo e religá-lo ao que ele chama de realidade, ele abre uma possibilidade para explorarmos cuidadosamente a força aparente que conecta conhecimento científico ao mundo externo ao laboratório por meio de um conjunto de descrições físicas.

Mencionar a realidade, como recurso argumentativo, é uma maneira de por fim a qualquer tentativa de expor as incertezas, as controvérsias, e desvincular as diferentes associações humanas e cotidianas que produzem a ciência, como aquelas que Michel tentou minimizar.

Assim como as explicações sociológicas, como aquela formulada por Shackley et al. (1998) e que mencionamos no final do capítulo anterior, esta explicação realista também faz desaparecer todo o conjunto de máquinas, instrumentos e a extensão das redes de medição e observação - além de todos os vínculos sociais que permitem a produção e a manutenção desta rede complexa. Nenhuma das duas explicações – sociológica ou realista - é incorreta, mas elas nos mostram apenas um dos lados da ampla rede e deixam de fora importantes conjuntos de elementos.

A força dos modelos como sistemas complexos de descrição surge justamente de sua capacidade de mobilizar, reunir e manter um conjunto de representações, no jargão nativo, que, de outra forma, estariam isoladas umas das outras. Equações desenvolvidas por diferentes projetos, como os de Ivan sobre nuvens, chuvas e aerossóis na Amazônia, e disciplinas distintas, como as ciências atmosféricas e a oceanografia, são associadas às redes que produzem conjunto de medições e observações. Para definir a realidade, os pesquisadores referem-se às observações e medições por estações meteorológicas locais ou satélites, em relação a qual os modelos devem ser, como vimos, calibrados e ajustados.

Se não houvéssimos passado por diferentes aspectos da produção de um modelo nas seções anteriores, não poderíamos avançar para além da Grande Divisão (cf. LATOUR, 1994) entre a sociedade que produz conhecimento por vínculos sociais, conforme relatado por sociólogos, ou a ciência natural que produz conhecimento por um espelhamento da realidade, segundo cientistas. Neste momento, podemos retrair a ciência dos modelos climáticos às redes exteriores, muito além das salas do cientistas, de seus supercomputadores, equações e códigos.

A Realidade (ou seu par, a Natureza), antes de ser algo pré-existente, é produto de práticas científicas em rede, criadas por uma série de medições tomadas localmente em estações meteorológicas ou por instrumentos sobrevoando a superfície terrestre, e acumuladas em bancos de dados por instituições. A autonomia do real e do natural só pode ser reconhecida como emergindo ao longo do processo

de construção destas redes. Sua extensão é limitada, pois as redes não cobrem a totalidade da superfície terrestre. A superfície terrestre é repleta de regiões onde não há histórico suficiente de medições, como os vazios inexplorados nos mares dos mapas medievais. Os dados dessa rede são constantemente manipulados, trabalhados, modelados de forma a acrescentar aproximações e extrapolações para preencher suas lacunas – como no caso das parametrizações feitas para regiões como a Amazônia ou o Centro-Oeste no Brasil, onde não há medições suficientes.

Como o labirinto explorado pelo herói grego, que deve seguir os fios tecidos por Ariadne para dominá-lo (LATOUR, 1994, pp. 114–120), aquilo que recebe o nome de realidade existe dentro dos limites que as próprias redes científicas tecem. Latour relembra a origem etimológica da palavra limite, em latim, *limes*, *limites*, que o Império Romano utilizava para designar tanto os caminhos que mantinham o território unido, pessoas e coisas conectadas, como as fronteiras que o definiam, em relação ao que não era o Império.

A realidade de que fala a ciência, se for compreendida como uma rede, é definida dentro dos caminhos e limites traçados pelas práticas científicas. “Fatos científicos são como trens, eles não funcionam fora de seus trilhos. Você pode estender os trilhos e conectá-los, mas você não pode dirigir uma locomotiva através do campo” (LATOUR, 1983, p. 155).

A força dos modelos climáticos, de acordo com esta argumentação, não está nas alianças sociais, que fazem desaparecer o conteúdo científico; nem no plano virtual, quando são compreendidos como ferramentas heurísticas e simplificações, que fazem desaparecer as associações complexas com outras redes; e nem mesmo na representação fidedigna de uma realidade onipresente. Sua força está na sua capacidade de mobilizar elementos heterogêneos de diferentes escalas, operando como laboratório – entre a escala local, (programas de computadores, equações e códigos, salas de pesquisa e reuniões e acordos com parceiros) e a escala global (os diferentes locais ao redor do mundo de onde os dados e medições que alimentam os modelos são obtidos).

4.4.1 Laboratórios virtuais

O laboratório, essencial para as experimentações, os testes e controle de variáveis, evidências e objetos de pesquisa da ciência moderna (LATOUR, 1983; SCHAFFER; SHAPIN, 1985; STENGERS, 2002), antes impossível de ser constituído para o tipo de ciência realizado pelos pesquisadores do Sistema Terrestre, devido às dimensões e as diferentes escalas dos fenômenos em questão, é trazido para dentro dos computadores.

Originalmente uma extensão dos modelos numéricos de previsão de tempo, esses novos modelos orientados para o clima permitiram que experimentos com o clima global fossem realizados na realidade virtual, e que não eram possíveis na realidade física (HULME, 2011, p. 257).

Fazer uso da expressão “realidade virtual” não significa opor-se ao real de que falam as ciências, mas apenas um novo modo de realizar experimentações por meio de programação computacional. Isabelle Stengers classifica ambos os modos de fazer ciência na chave do laboratório: laboratórios materiais e laboratórios de informática (2002, p. 165).

A contraposição entre a prática virtual da modelagem climática e a ideia de laboratórios em que substâncias e seres orgânicos ou inorgânicos são *materialmente manipulados*, é relatada por meus informantes em campo, em todas as primeiras entrevistas realizadas. Catarina diz:

“Meu regime de trabalho é caótico. Tenho um programa conectado a um computador nos Estados Unidos, outro no Brasil, e outro com meu e-mail aberto. (...) Troco muitos e-mails e trabalho com bancos de dados”, e neste momento a pesquisadora me mostra um mapa colorido em um programa no computador, com a América do Sul e o Oceano Atlântico colorido, com a escala de temperaturas da superfície do oceano representada na imagem em uma escala cromática. Ela trabalha neste mapa a partir de um programa que roda encadeamentos de linhas de códigos, tal como na linguagem matemática que vimos anteriormente.

Seus modelos são rodados remotamente em instituições estrangeiras, em conjunto com pesquisadores destes locais. Os bancos de dados a que ela se refere são obtidos por meio de parcerias com redes científicas internacionais e são colhidos em medições de campo, feitas por outros pesquisadores, em projetos que envolvem aviões e navios científicos, boias em alto mar, balões atmosféricos, e dados dos satélites espaciais da NASA.

Como pesquisadora que trabalha com simulações de modelos, ela não realiza trabalho de campo – onde costumam ser constituídos laboratórios móveis, como vimos com o caso de Ivan na Amazônia. “Olho para [o modelo], faço outras coisas, depois volto para ele, me lembro de algo, não gosto do que saiu e assim vai. (...) Não trabalho num laboratório como as outras ciências, não tenho um regime de trabalho de laboratório.”

Ivan relata algo bem próximo, em nossa primeira entrevista:

Meu trabalho consiste em desenvolver modelos tentando representar os dados observados, rodar os modelos para interpretar e analisar os dados. Algum tipo de modelo todos acabam tendo que usar. (...) O campo, para a maioria de nós, não é muito tradicional, não há um recinto. O trabalho é feito na programação dos computadores e no campo que alguns fazem em locais de observação, como o meu na Amazônia.

Etnograficamente, este tipo distinto de *prática* científica realizada por pesquisadores simulando sistemas abertos e não-lineares, manipulando bancos de dados e conjuntos de códigos e equações em um ambiente virtual impõe mudanças e limitações consideráveis à pesquisa antropológica, que acaba sendo limitada muitas vezes a um excessivo logocentrismo. Mikaela Sundberg e Myanna Lahsen, que realizaram pesquisas etnográficas entre modelistas, nos artigos que analisamos neste trabalho, baseiam seus relatos de campo na maior parte das vezes em entrevistas e este trabalho também sofreu esta limitação em sua pesquisa etnográfica.

Contudo, é possível realizar uma comparação entre os dois modelos de ciência em jogo, não para igualá-los, mas para problematizar a compreensão de que a modelagem climática não é feita em laboratórios. Esta oposição entre o chamado

laboratório tradicional e as novas práticas virtuais da ciência ambiental segue uma certa definição de ciência como encerrada em seus recintos controlados de manipulações materiais, à qual Bruno Latour procura se contrapor, assim como se contrapõe às divisões entre contexto social e conteúdo científico, ou sociedade e realidade natural (1983, 1994, 2000).

Seguindo e enumerando todos os elementos participantes da produção científica, é possível descrever o laboratório como uma força que opera, como uma alavanca, por diferentes transposições e desestabilizações de escalas, entre o externo e o interno, o macro e o microscópico, o técnico e o não-técnico (LATOUR, 1983, p. 143). De acordo com esta proposta, o cientista “(...) consegue fazer em seu laboratório o que todos tentam fazer do lado de fora, mas, enquanto todos falham, porque a escala é muito grande, [o cientista] sai bem-sucedido, por trabalhar na pequena escala” (p. 149)¹¹⁸

No exemplo de Latour, o cientista francês Louis Pasteur monta um laboratório capaz de trabalhar na microescala com exemplares de micróbios que até então agiam do lado de fora, nos pastos franceses, na forma de agentes epidêmicos silenciosos, invisíveis, mas bastante mortíferos. Espalhados pelo campo, ninguém conseguia controlá-los, mas dentro do laboratório, numa escala reduzida por instrumentos, amostras de sangue, meios de cultura e microscópios, Pasteur pôde realizar testes e experimentos com eles.

Em relação à desestabilização de escalas, o laboratório possui um duplo papel. A partir da macroescala do campo são levados alguns animais doentes e algumas amostras de sangue para o microescala do recinto controlado. Como é impossível pesquisar todos os animais doentes, devido ao número muito grande de indivíduos e muito pequeno de pesquisadores, são escolhidos alguns representantes. É criada uma força nova nesta tradução do macrocosmo para o microcosmo. É criado, enfim, um modelo - que vai ser chamado de representação.

Apesar da redução da totalidade para uma simplificação (o modelo), é possível a realização de experimentos com estes poucos elementos controlados. Os poucos representantes permitem que o pesquisador faça testes, extraia sangue, cultive um

¹¹⁸ Na citação original de Latour, o cientista sujeito da frase é Louis Pasteur.

número reduzido de micróbios, faça inoculações, e então produza estatísticas e tabelas. Latour afirma que a força do laboratório está em funcionar como uma alavanca em que escalas e situações não equivalentes tornam-se equivalentes (Latour, 2000).

“O macrocosmo está conectado ao microcosmo do laboratório, mas um laboratório nunca é maior do que suas paredes” (LATOURE, 1983, p. 150). O segundo papel do laboratório é de expandir elementos novos, mobilizados para fora de seu recinto. Após o trabalho laboratorial, uma invenção é produzida pelos testes de força. A vacina de Pasteur é levada de volta para a macroescala do campo para ser extrapolada e testada em animais livres. Se funcionarem, estas técnicas capturarão interesses alheios, da sociedade agrícola, dos fazendeiros, dos higienistas e do Estado. O laboratório nunca é maior do que as paredes que o cercam, mas a rede que ele tece pode se estender para além delas após o surgimento da invenção (LATOURE, 1983, p. 152; STRATHERN, 1996).

As simulações computacionais se tornaram um laboratório, conforme esta exposição. Apesar de não realizarem experimentos com matéria orgânica ou inorgânica, viva ou inanimada, como na definição usual de laboratório, os modelos climáticos criam experimentos virtuais. Apesar de estarem encerrados em um ambiente de realidade virtual, operando reduções da complexidade dos fenômenos climáticos, podem testar correlações entre os diferentes elementos e simular seu comportamento.

Quando Ivan afirma que desenvolve modelos para “representar os dados observados”, podemos afirmar que o real, para as redes de mudanças climáticas, se define como produto de provações experimentais dos modelos computacionais e suas simulações.

Os modelos, por meio de seus usuários e desenvolvedores, trazem para a microescala, dentro dos programas de computador, todas as informações obtidas por redes extensas fora dele. Este conjunto, por sua vez, muito maior do que o próprio laboratório virtual nos computadores dos modelistas já havia passado pelo mesmo tipo de transformações anteriormente. Amostras, representantes de fenômenos e elementos extraídos do macrocosmo, na floresta Amazônica, oceanos, atmosfera,

foram selecionados e levados para o microcosmo dos laboratórios que analisam e compõem os bancos de dados.

As divisões entre macro e micro, dentro e fora são constantemente desestabilizadas. A doença que Pasteur deve extrair para formular sua vacina, presente nos pastos do lado de fora de seu laboratório, só existe na medida em que já havia sido coletada e incluída em tabelas e gráficos de amostragem dentro dos institutos de estatística dos higienistas do governo francês que recolheram dados de fazendas após a morte de animais de criação.

Da mesma forma, a exterioridade – ou realidade observada, para os cientistas – é uma interioridade para as redes de medição em um longo processo de estabilização há mais de dois séculos. As observações e medições de temperatura, pressão, umidade e momento não são o mundo em si, mas fazem parte destas redes internacionais mais antigas. “Na maior parte do tempo em que falamos de um mundo externo, *nós estamos simplesmente desconsiderando a extensão anterior de uma ciência mais antiga (...)*” (LATOUR, 1983, p. 150, grifo no original).

Ao longo do segundo e do terceiro capítulos, acompanhamos a história que compõe a construção destas redes históricas de medições meteorológicas. Michel não poderia falar em nome da realidade observada para defender a eficiência de seu modelo, se não ele não tivesse acesso aos bancos de dados historicamente medidos e analisados por essas redes internacionais meteorológicas e não se não existissem padronizações internacionais das metodologias de análise de dados e da calibragem dos instrumentos, que fazem com que dados mensurados ao redor do mundo tenham equivalência entre si.

No laboratório dos modelistas climáticos são selecionados porta-vozes entre essas variáveis observadas e medidas por essas redes. Pela resolução temporal e espacial do modelo, o conjunto de dados observados e medidos é reduzido a um número menor de elementos, as variáveis são discretizadas e, do conjunto de equações e parametrizações, algumas são descartadas e outras mantidas - após todos os testes de força com as inúmeras simulações.

Cada vez que estes elementos são mobilizados para dentro dos modelos, muitas informações se perdem, o conjunto complexo das redes se reduz, mas há um ganho:

é possível falar de alguma forma algo sobre o clima global, com dados e equações de todas as componentes do sistema terrestre, a um só tempo.

O todo dos modelos climáticos é ao mesmo tempo maior e menor do que a soma de suas partes – uma das principais conclusões que a teoria do ator-rede apresentou em seus estudos de ciência (LATOUR et al., 2012). É maior, pois associa todos os elementos que antes eram independentes entre si, inseridos em suas redes, mas é menor, pois não contém todas as informações obtidas quando estes elementos foram produzidos, apenas sua redução. A simples somatória dos elementos não permitiria que o modelo fosse rodado – as máquinas entrariam em colapso ou demorariam infinitamente para terminar de rodar os modelos.

Os elementos associados informavam somente sobre seus próprios processos. Um gráfico do histórico de precipitação criado por analistas de instrumentos de medição na floresta amazônica, por exemplo, informa apenas sobre períodos de chuvas naquele local. Podemos dizer o mesmo sobre todos os outros elementos mobilizados pelos modelos climáticos, conjuntos de temperatura, precipitação, pressão, força de ventos e correntes e concentração de gases.

Se apenas descrevessem e reunissem processos físicos e medições anteriormente estabelecidos, os modelos climáticos não seriam mais nada além de ferramentas computacionais interessantes ou novas formas de descrever o conjunto de processos. Entretanto, eles fazem algo a mais ao permitir experimentações.

A ciência que opera por experimentações virtuais e simulações computacionais opera do mesmo modo que as ciências das experimentações físicas. Sendo os objetos, coisas como micróbios e amostras de soro, ou virtuais, como as simulações da modelagem climática, eles operam os mesmos tipo de mobilização, realocando, da infinidade de elementos do lado de fora, um pequeno número para o lado de dentro, seja ele um laboratório ou um simulador. Ambos os tipos de ciência operam como alavancas, e, como as alavancas de Arquimedes, cada redução produz, além das perdas das reduções, enormes ganhos, devido às novas associações que não existiam anteriormente.

Reunidos os representantes, o modelo climático permite que sejam feitas correlações novas, como no exemplo dos ciclones ou as secas amazônicas e o aquecimento global, conforme relatado por Michel. Consequentemente, os

modelistas que os produzem tornam-se os porta-vozes destas novas associações. Antes dos modelos, havia indicadores de aumento de temperaturas, indicadores de secas mais frequentes na Amazônia, e indicadores de ciclones mais potentes, todos produzidos por redes locais. Após os modelos, estes cientistas podem dizer que, por causa do aumento de temperatura, secas estão mais frequentes na Amazônia e ciclones mais frequentes nas Américas.

Ao tratarmos os modelo numéricos climáticos como um laboratório podemos acompanhar todas as novas invenções que eles produzem: as simulações sobre o clima futuro, para além de novas descrições sobre o clima passado e presente.

As simulações são a nova força, as invenções de que fala Latour, como a vacina de Pasteur, que permitem acompanhar o que é feito dentro dos laboratórios ir ao lado de fora dos recintos, alistando interesses de grupos que, até então, não se interessavam pelo regime de precipitação de locais ao redor do mundo, ou das medidas de pressão, força dos ventos e temperatura – mas que passam a serem interessados pelas simulações do futuro. As associações que permitem que cientistas simulem o tempo futuro são a chave para entendermos como os modelos climáticos, compreendidos como laboratórios, se tornaram um “ponto de passagem obrigatório” para redes mais extensas (CALLON, 1986).

4.4.2 Narrativas simuladas e a dimensão humana

Myanna Lahsen, a partir da leitura de um artigo de Shackley e Wynne, escreve que “simulações climáticas são baseadas nos pressupostos de que a natureza pode ser quantificada e constitui um sistema suficientemente determinístico que, deste modo, em princípio, pode ser previsto até o futuro distante (Shackley & Wynne, 1996)” (LAHSEN, 2005, p. 899).

Stengers compara a arte do simulador com a arte do roteirista. Os cientistas da modelagem climática definem as correlações e seus encadeamentos mútuos dos elementos com que trabalham e observam as diferentes histórias originadas deste “matriz narrativa”.

A arte do simulador é a do roteirista: colocar em cena uma multiplicidade heterogênea de elementos, definir de um modo que é o do "se... então..." temporal, narrativo, a maneira como esses elementos atuam juntos, depois acompanhar as histórias que essa matriz narrativa é capaz de originar. São essas histórias que põem a matriz à prova, e fazem da simulação uma experimentação sobre nossos enunciados (STENGERS, 2002, p. 165).

Stengers afirma que as simulações ambientais põem em contato as antigas práticas de conhecimento científico, as descrições, as explicações e as narrativas, com as práticas modernas, das experimentações e ficções laboratoriais¹¹⁹.

Os modelos assumem um caráter preditivo, quando incluem uma nova força em seu conjunto, as dimensões humanas. Elas são adicionadas aos modelos climáticos na forma da correlação entre a temperatura global e as taxas de emissão antropogênica de gases de efeito-estufa, e a correlação entre essas taxas de emissão e os cenários de crescimento econômico (HULME, 2009, pp. 61–68). Se continuarmos a seguir os caminhos que trilhamos até agora, sabemos que essas associações são encadeamentos a partir de outras redes mais antigas e mais extensas.

Durante os séculos XIX e XX, a capacidade de gases de absorver radiação e produzir calor havia sido lentamente transformada em caixa-preta, após sucessão de testes laboratoriais, desde os primeiros experimentos de Tyndall (ver seção 2.2). A

¹¹⁹ A filósofa belga atenta-se a uma questão importante dos novos modos de experimentações colocados pela simulações: *Se a simulação põe em contato sob um modo novo, experimental, a descrição, a explicação e a ficção, e isto em todos os campos em que um autor crê poder propor "razões" para uma história, ela coloca um problema específico nos campos teórico-experimentais. Não é sem razão que aqui se discute a necessidade de uma "ética" da simulação, pois a maneira pela qual um programa "adultera" as leis (ao definir seu alcance em vez de exprimir seu poder) questiona o modo de comprometimento mútuo entre conduta, verdade e realidade. O laboratório informático é com efeito bem mais rápido, flexível e dócil que o laboratório material. Nele podemos encenar fenômenos que não poderíamos produzir em laboratório, aumentar escalas, diminuir outras, simular o comportamento de uma população de mil moléculas, ou submeter a provas interessantes um cristal dotado de falhas especiais. Mas a que corresponde uma "experiência" efetuada em um cristal "informático"? Produziria ela uma ficção ou justificaria um enunciado experimental? Como lidar com os enunciados do tipo "a experiência mostra que..." quando não se trata mais de um acontecimento, ligação conquistada entre palavras e coisas, mas de uma cena que é inteiramente definida em termos de representações?* (STENGERS, 2002, pp.165-166).

correlação entre o aumento da temperatura, inscrita em curvas do aumento da temperatura média global e o aumento das concentração de gases na atmosfera, inscritas em curvas de medições da concentração de carbono atmosférico (a chamada curva de carbono), foram produzidas em meados do século XX por diversas redes internacionais, desde a criação da OMM e da realização do AGI (ver seções 3.1 e 3.2).

Estes índices, medições e correlações produzidos por essas longas redes são inseridos no microcosmo dos modelos climáticos como um elemento muito menor: a forçante radiativa dos gases, termo gerador de calor na forma de equações físicas.

Uma das principais formas destas redes de modelagem climática de testarem a força desta associação entre forçante radiativa dos gases e o aumento correlacionado da temperatura média global é por meio de simulações testes em que esta forçante é excluída da análise do clima terrestre, e apenas são consideradas as forçantes chamadas de naturais pela rede do IPCC. As forçantes naturais levam em conta apenas a radiação solar e as emissões vulcânicas (HOUGHTON et al. [IPCC], 2001)

As análises comparativas entre os resultados destas tornam-se testes de força, na medida em que as simulações com forçantes antropogênicas ou ambos os grupos de forçantes apresentam resultados mais próximos ao crescimento das temperaturas observadas, do que as que incluem somente as forçantes naturais.

Na figura 3 abaixo, podemos ver as linhas vermelhas, que indicam as médias anuais de temperatura global observadas em uma relação de anomalia com as médias relativas ao período de 1850-1920 – maior que zero indica temperatura média global anual maior do que a deste período, menor que zero indica temperatura média global anual menor. Esta relação só é possível pelo acúmulo de dados históricos da OMM. As áreas em cinza indicam os diversos resultados de diferentes simulações de um conjunto de diversos modelos analisados pelos relatórios do IPCC. Como podemos ver, as simulações que incluem as forçantes solar, vulcânica e dos gases de efeito-estufa são as que mais se aproximam das medições históricas.

Simulação de temperaturas médias anuais globais

Figura 10 Fonte: HOUGHTON et al. [IPCC], 2001 apud Marengo, 2006, p. 28.

Para Ivan, seguindo os relatórios do IPCC, os modelos que equacionam somente as emissões naturais de gases de efeito-estufa decorrentes da fotossíntese de plantas na superfície e algas nos oceanos, dependentes da quantidade variável de radiação solar, também não atingem os níveis observados. Sobre a crítica usual dos céticos aos modelos climáticos com forçantes antropogênicas, ele diz:

Um argumento de crítica correto dos céticos [aos modelos climáticos] era baseado em um aumento de temperatura anterior ao aumento de carbono no sistema natural. Para eles, isso significava que a radiação solar incidindo na Terra causava maior crescimento de plantas, que produziam mais gás carbônico.

O que os céticos não viram foi o seguinte: o que forçavam esse aumento eram a trajetória errática da Terra [em torno do Sol] e a variação da atividade solar. O Sol, mais próximo de tempos em tempos, faz a temperatura subir e a fotossíntese aumentar, liberando mais CO₂, assim como mais oxigênio, no processo conjunto de fotossíntese e respiração. O problema é a quantidade de CO₂ na atmosfera. Ele está aumentando sem haver aumentado os níveis de radiação solar ou de oxigênio na atmosfera. Os

modelos que contabilizam apenas as causas naturais não atingem os níveis medidos.

Para Ivan, isso comprova que “o homem esquentou o planeta”.

Catarina, ao tratar de seus primeiros estudos com modelagem acoplada de componentes atmosféricos e oceânicos para estudar as mudanças climáticas para a região da América do Sul, trata da época em que ainda não faziam extrapolações para o futuro e utilizavam dados das concentrações de gases atuais:

Com um modelo acoplado de oceano e atmosfera, nós fizemos no começo da década passada dois conjuntos de experimentos, um pré e outro pós industrial. O experimento pré-industrial que fizemos representa as condições atmosféricas encontradas no começo do século XIX. Nós utilizamos um valor fixo para a forçante solar, e os valores para a concentração dos gases do efeito-estufa foram estimadas a partir dos registros de gelo, obtidos por pesquisadores na Antártida e Groenlândia. No experimento que chamamos de pós-industrial, nós basicamente mudamos as quantidades destes gases e utilizamos as concentrações de gases medidas diretamente na década de 1990. Os resultados das comparações entre ambas as simulações nos mostraram uma intensificação significativa das variáveis de temperatura e pressão para as médias anuais e sazonais no período pós-industrial.

Em outro momento de nossa entrevista, ao tratarmos da questão da controvérsia, em que pesquisadores céticos não acreditam nas hipóteses das influências humanas no clima, ela disse:

Não é uma questão de religião, de se acreditar em algo. Eu não estou pedindo para ninguém acreditar em nada. É uma medição, um dado. A curva do carbono foi comprovada com dados. Não quero debater isso.

Por curva do carbono, ela se refere à medida cada vez crescente da concentração do gás carbônico atmosférico, que teve início com as medições de Mauna Loa em meados do século. A professora também relatou que um aluno

duvidou da veracidade da curva do carbono em uma aula sobre mudanças climáticas, assim como da associação entre a curva e o aumento de temperatura.

Não sei lidar com isso. É um debate muito difícil. Não há como debater um dado. Não é como uma religião. E as mudanças climáticas se tornaram como uma religião.

Ninguém duvida da gravidade, por exemplo. As coisas caem. A curva do carbono seria como a gravidade.

Outro professor da USP, Luís, colega de Michel, e que trabalha com impactos das mudanças climáticas na população, também afirmou, como Ivan, que o maior erro dos céticos é que eles simplesmente desconsideram as emissões antropogênicas. Para ele, é impossível pensar em uma natureza que não se altere em nada com nossa presença global¹²⁰.

As mudanças climáticas são um fato irrefutável, as temperaturas vão subir e nós já sabemos disso. O que acontece são melhoras e aperfeiçoamento nas medições e previsões.

Estamos emitindo gases desde o início da Revolução Industrial, não tem lugar onde todo esse carbono foi parar. É um absurdo desconsiderar as emissões humanas, como se a natureza não se alterasse em nada com nossa presença.

Michel, ao se referir aos impactos causados pelas emissões industriais dos últimos duzentos anos, afirma que “nós temos que ter tido aumento de impacto”. Para ele, o raciocínio dos céticos é o de que apenas há alterações locais de microclima, próximo das aglomerações urbanas e da infraestrutura humana, mas ele diz que os céticos se esquecem que:

Ao mudar o microclima, por exemplo com uma represa do tamanho de Itaipu, você muda a distribuição de ventos, muda o regime de precipitação, muda a variabilidade do

¹²⁰ Entrevista em 31/10/12.

solo, muda a vegetação e tudo isso se soma numa escala global.

Importante notar que estes testes de força são responsáveis por mostrar a resistência dos modelos climáticos usados pelo IPCC e por essas redes científicas frente às incertezas. Estes testes tornam esta associação uma caixa-preta; e qualquer grupo que não se associe a esta caixa-preta, como o grupo dos céticos, é cortado para fora da rede.

As taxas anuais de emissão de gases de efeito-estufa incluídas nos modelos são produzidas por redes globais com uma história muito recente. Em meados dos anos 1990, no âmbito do tratado de Quioto (ver seção 3.4), que estipulava a redução das emissões de gases do efeito-estufa dos países industriais para conter o aquecimento global, foram produzidos inventários nacionais da quantidade de emissões anuais de gases de efeito-estufa pelo conjunto de atividades urbanas, industriais, agropecuárias e pelas mudanças do uso do solo, como desmatamento¹²¹.

¹²¹ Para um relato sobre como redes sociotécnicas investigam as emissões de carbono no Brasil e produzem os cenários nacionais, ver o excelente ensaio jornalístico “Contadores de Carbono”, escrito por Bernardo Esteves e publicado na Revista Piauí, edição de número 57 e disponível em: <http://revistapiaui.estadao.com.br/edicao-57/questoes-ambientais/contadores-de-carbono> (acesso em junho de 2013). Bernardo entrevista uma série de matemáticos, físicos, engenheiros e geógrafos responsáveis pela contagem oficial do carbono emitido no Brasil pelo conjunto de atividades emissoras (urbanas, indústrias, agropecuárias ou resultantes de mudanças do uso do solo, como desmatamento) e inventariados em cenários de emissão oficiais, patrocinados pelo MCTI. De acordo com seus informantes, o índice de incerteza, ou a margem de erro, é de mais de 30%, devido ao conhecimento parcial sobre processos de emissão e captura de carbono por ecossistemas e seu conjunto complexo de entidades vegetais, e também devido à insuficiência e a falta de confiabilidade nos dados oficiais sobre ecossistemas e produção agropecuária no Brasil. O inventário está no centro de uma controvérsia importante, no âmbito do IPCC, sobre metodologia de análise: nomeadamente o que contabilizar ou não como emissão antropogênica nos casos em que as entidades que emitem ou capturam carbono não são humanas, como uma floresta em chamas ou uma área de preservação ambiental. Outro motivo de controvérsia diz respeito a como aplicar métodos de análise de emissão e captura de carbono para ecossistemas em regiões onde se conhece apenas parcialmente os processos envolvidos, como o Cerrado e a Mata Atlântica - que, além disso, não são monitorados por um sistema nacional de combate ao desmatamento, como a Amazônia, e não foram objetos de estudo com a amplitude que foi a Amazônia, por meio de projetos internacionais como o LBA e que se dedicaram a compreender os processos do ciclo de carbono relativos às especificidades do ambiente amazônico (ver seção 3.5). Especificidades locais geram diferentes incertezas e novas demandas de pesquisa, como no caso de nuvens e chuvas estudados por Ivan. Sobre a controvérsia sociotécnica em torno da floresta amazônica ser ou não um emissor ou sumidouro líquido de carbono, ver Lahsen (2009a).

De acordo com o regime internacional estabelecido em Quioto, o Brasil, como país em desenvolvimento, não é obrigado a reduzir suas taxas de emissão – mas pela posição do Brasil como um dos principais emissores de carbono do mundo, devido principalmente ao desmatamento da Amazônia, o governo do ex-presidente Lula adotou taxas voluntárias de redução e foi o primeiro país em desenvolvimento a fazer isso (ver seção 3.5).

Estes inventários nacionais de emissão foram importantes para o desenvolvimento dos diferentes cenários futuros de emissões globais a partir de 1996, no âmbito dos preparativos para o terceiro relatório de avaliação do IPCC. As medições da concentração dos gases até então eram feitas a partir de dados observados no presente, ou a partir de reconstruções históricas do passado, como os obtidos em blocos de gelo na Antártica (ver seção 3.2).

Entretanto, para que os modelos pudessem extrapolar o crescimento da concentração para o futuro, foram preparados cenários especiais. Estes cenários de emissões futuras associaram projeções de crescimento demográfico e econômico, que estipulam crescimento da produção industrial, do consumo de energia, da queima de combustíveis fósseis e do desmatamento para o século XXI (HOUGHTON et al. [IPCC], 2001; HULME, 2009, p. 269). Estas projeções de emissões passaram a ser desenvolvida devido à formulação dos chamados Relatórios Especiais de Cenários de Emissão (*Special Reports on Emissions Scenarios*, ou SRES, na sigla comumente adotada no âmbito do IPCC).

Os Cenários de emissão são produzidos de acordo com alguns “roteiros narrativos” (*narrative storylines*), conforme o próprio vocabulário do TAR, que procuram descrever a relação entre elementos não-humanos, a quantidade de emissões dos principais gases de efeito-estufa e enxofre, e elementos humanos, as forças demográficas, econômicas e tecnológicas, responsáveis pelas emissões (HOUGHTON et al. [IPCC], 2001, p. 62). Foram produzidas quatro grande narrativas para o futuro dos elementos humanos globais e suas consequências para os níveis de emissão. A maior parte dos modelos climáticos produzidos ao redor do mundo adotam todas ou algumas desses roteiros para rodar suas simulações do futuro.

Por exemplo, as simulações dos modelos climáticos no Brasil, como aquelas produzidos no Inpe e na USP, encomendadas pelo governo federal nos anos 2000, adotam os quatro roteiros de cenários de emissão em seus estudos sobre os impactos das mudanças climáticas futuras no clima regional sul-americano (AMBRIZZI et al., 2007; MARENGO, 2006, 2007).

Os cenários são chamados de A1, A2, B1 e B2, e correspondem às seguintes narrativas:

A1. A narrativa da família de cenários A1 descreve um mundo futuro de rápido crescimento econômico, população global que atinge seu pico no meio do [próximo] século e declina em seguida, e a rápida introdução de novas tecnologias mais eficientes. Os temas principais são: convergência entre regiões, capacitação e ampliação das interações culturais e sociais, com uma redução substancial das diferenças regionais da renda per capita. A família de cenários A1 são distinguidos por suas ênfases tecnológicas: uso intensivo de combustíveis fósseis (A1FI), de fontes de energia não-fósseis (A1T), ou um balanço entre todas as fontes (A1B) (em que o balanço é definido como uma não dependência forte de uma fonte de energia particular (...)).

A2. A narrativa da família de cenários A2 descreve um mundo bastante heterogêneo. O tema subjacente é autossuficiência e preservação das identidades locais. Padrões de fertilidade convergem muito devagar através das regiões, o que resulta num crescimento contínuo da população. O desenvolvimento econômico é principalmente regional e o crescimento econômico per capita e as mudanças tecnológicas são mais fragmentadas e mais lentas do que em outras narrativas.

B1. A narrativa da família de cenários B1 descreve um mundo convergente com a mesma população global, com pico no meio do século e declínio em seguida, da narrativa A1, mas com uma rápida mudança nas estruturas econômicas em direção a uma economia de serviços e informação, com reduções da intensidade material e a introdução de tecnologias limpas e eficientes. A ênfase está nas soluções globais para a sustentabilidade econômica, social e ambiental, incluindo crescimento da igualdade, sem iniciativas climáticas adicionais.

B2. A narrativa da família de cenários B2 descreve o mundo com ênfase nas soluções locais à sustentabilidade econômica, social e ambiental. É um mundo com uma população global crescente, num ritmo menor do que no A2, níveis intermediários de desenvolvimento econômico, e mudanças tecnológicas menos velozes e mais diversas do que nas narrativas A1 e B1. Enquanto o cenário também está orientado para a proteção ambiental e igualdade social, ele foca nos níveis locais e regionais (HOUGHTON et al. [IPCC], 2001, p. 63).

Cada uma destas narrativas produzidas no âmbito do IPCC reduz toda a complexidade das mudanças sociais e tecnológicas a um número reduzido de indicadores que simulam diferentes desenvolvimentos futuros das chamadas atividades humanas. Outro ponto importante de se notar é que a categoria “atividades humanas”, para estes roteiros narrativos, são todas e somente aquelas atividades relacionadas ao modo de vida urbano-industrial: atividades industriais, serviços urbanos, transportes urbanos motorizados coletivos ou individuais, atividades agropecuárias normalmente relacionadas ao consumo das populações urbanas ao redor do mundo. Como são esses conjuntos de atividades que são normalmente relacionados às emissões de gases de efeito-estufa, metonimicamente são chamados de “atividades humanas”. Qualquer outro tipo de atividade também humana, mas não industrial ou urbana, ou que não emita direta ou indiretamente gases de efeito-estufa em quantidade considerável não fará parte da dimensão humana.

Nestes roteiros climáticos são produzidas narrativas a partir de associações entre produtos das interações de equações físicas, do tipo: “se as economias crescerem de tal modo, as taxas de emissões destes gases aumentarão em certa porcentagem ao longo dos próximos cem anos, logo testemunharemos um aumento de tantos graus da temperatura e consequentemente tais alterações dos fluxos atmosféricos e oceânicos”.

Cada uma destas narrativas produz diferentes cenários para todo o século XXI, com diferentes níveis de emissões de gases de efeito-estufa e concentração do gás carbônico atmosférico, o principal dos gases de efeito-estufa de origem humana. Enquanto alguns cenários (A2 e A1FI) preveem emissões quadruplicadas de CO₂ até o final do século, em relação a seu início, e por isso chamados de “cenários

pessimistas, outros cenários (B2 e A1T) preveem a diminuição das emissões em relação aos níveis atuais e são chamados de “otimistas” (HOUGHTON et al. [IPCC], 2001; HULME, 2009, p. 269). Algumas previsões de mudanças tecnológicas e sociais são contabilizadas, como a preocupação crescente com tecnologias mais limpas, com a economia sustentável ou redução dos níveis de poluição urbanos, o que leva quase todos os cenários a preverem reduções nas emissões de enxofre, por exemplo – substância relacionada à poluição urbano-industrial.

Tais projeções (concentração de gases na atmosfera e cenários de emissão de gases no futuro), produzidas por essas redes extensas, são traduzidas para dentro dos modelos na forma de um número reduzido de elementos: diferentes projeções de aumento da concentração de gases de efeito-estufa ao longo da escala de tempo simulado pelo modelo. Na escala reduzida do modelo, isso é feito através dos termos que geram calor. Com as mudanças destes termos, os modelistas podem simular as mudanças inter-relacionadas e interdependentes das outras variáveis: as temperaturas médias, os regimes de precipitação, o comportamento das massas de ar e dos oceanos, que se tornam mais instáveis e os processos resolvidos ou parametrizados.

Por exemplo, nos relatórios encomendados pelo Ministério do Meio Ambiente (MARENGO, 2006), mencionados anteriormente, procura-se indicar a força de um conjunto de modelos climáticos em analisar o clima passado e presente da América do Sul de maneira satisfatória, para então aplicar dois dos cenários especiais de emissão do IPCC, um otimista (B2) e outro pessimista (A2), e analisar os resultados das simulações para o futuro. No cenário otimista, projeta-se uma narrativa do século XXI em que haverá um crescimento menor das emissões de gases de efeito-estufa e uma diminuição das emissões de poluentes a base de enxofre. No cenário otimista, projeta-se um crescimento acentuado das emissões de gases de efeito-estufa, e um crescimento, seguido de diminuição das emissões de poluentes de enxofre.

Os modelos utilizados fazem parte dos modelos analisados para o IPCC, mas importados para o Brasil por diversos grupos, como o de Michel e Ivan, e alterados para rodar cenários regionais da América do Sul e não de todo o globo, com a inclusão de processos, equações e parametrizações desenvolvidos por redes locais

para descrever processos locais de forma mais satisfatória, como vimos nas seções 3.5, 4.3 e 4.4.

O crescimento das emissões e o decorrente aumento da temperatura geram uma série de *feedbacks* regionais nas simulações e analisados por estas redes nacionais, como diferentes mudanças das temperaturas médias sazonais ou anuais, mudanças nos regimes regionais e sazonais de precipitação, na vazão sazonal das bacias hidrográficas, no comportamento sazonal das massas de ar e fluxos atmosféricos, e na quantidade de eventos climáticos extremos – todos relativos às médias calculadas para meados do século XX. São produzidos resultados das simulações como os seguintes:

2071-2100

Figura 11 Fonte: MARENGO, 2006, p. 112.

2071-2100

Figura 12 Fonte: MARENGO, 2006, p. 112.

2071-2100

Figura 13 Fonte: MARENGO, 2006, p. 99.

2071-2100

Figura 14 Fonte: MARENGO, 2006, p. 99.

Todos os mapas da América do Sul acima referem-se à média dos resultados simulados por todos os modelos climáticos utilizados pelo projeto para o período de 2071 até 2100. As duas primeiras figuras referem-se aos aumentos ou diminuições de temperatura médias simuladas para o período, em comparação com as médias estabelecidas para cada local pela OMM para o período de 1960-1990; as duas últimas figuras referem-se aos aumentos ou diminuições de precipitação para o mesmo período em comparação com o mesmo período de médias da OMM. Cada um dos três mapas em cada linha refere-se às simulações sazonais de verão (primeiro mapa), inverno (segundo mapa) e anuais (terceiro mapa). O primeiro e o terceiro conjunto referem-se aos cenários pessimistas de emissões (maiores emissões), e o segundo e quarto conjunto referem-se aos cenários otimistas de emissões. Como podemos ver, os modelos, por sua resolução temporal limitada, sempre se referem às médias climatológicas (estações do ano e períodos longos de anos), do que a medidas meteorológicas (horas, minutos, dias).

Por meio da tradução destas amplas redes que geram os cenários de emissões em um termo (forçante radiativa), o futuro, na modelagem climática, é tanto um novo agente (na forma de modificações das forçantes radiativas dentro da modelagem, devido ao aumento simulado da concentração de gases), como uma nova invenção (na forma de cenários climáticos, produtos das diferentes interações entre os termos dentro da modelagem).

As descrições de futuro baseadas em simulações de modelos climáticos numéricos, por meio do fato da forçante dos gases, ganham um poder discursivo desproporcional em relação a outras variáveis e em detrimento de outros sistemas, como as mudanças sociais e culturais – desconsiderados dos modelos (HULME, 2011, p. 255). Este reducionismo determinista dá à modelagem climática uma

hegemonia sobre nossas visões de futuro, como afirma Hulme (2011). Como afirmamos em outras partes do texto, essas visões de futuro também recriam nosso presente e nossas visões sobre ele. A simplificação das incertezas e da complexidade do futuro na forma de previsibilidades e conhecimentos nestas simulações criam expectativas e ansiedades, abrindo caminhos para modificações do presente (TADDEI, 2013).

É esta invenção, o futuro simulado e gerado em forma de cenários e análises, que informa o resto da sociedade a respeito das diferentes probabilidades de aquecimento e de mudança de regimes climáticos, o que permite que outros cientistas e políticos explorem as decorrências e falem em mitigação, adaptação, impactos e efeitos das mudanças climáticas em espécies de animais e plantas, em cultivos agrícolas e nas populações humanas, suas habitações, seus transportes, sua alimentação e seus meios de vida (FAPESP, 2008).

Os cientistas, por meio de seus laboratórios, os modelos, e suas invenções, os cenários do futuro, tornam-se porta-vozes de narrativas de novas sociedades e naturezas em um futuro de mudanças ambientais de alcance global e um presente repleto de ansiedades em relação aos riscos e ao medo das catástrofes e das transformações. Desta forma, é possível explorar os novos domínios de sociedades e naturezas produzidos por estas redes heterogêneas, de onde partimos no primeiro capítulo.

CONCLUSÃO

NOVOS COLETIVOS, NOVAS INCERTEZAS

Os relatos científicos que exploramos neste trabalho criam narrativas sobre fenômenos naturais climáticos que são determinados por leis físicas e por atividades humanas, com impactos em processos ambientais correlacionados ao clima, e também sobre sociedades que se tornam fatores ambientais, assim como ciclos solares, vulcânicos e biogeoquímicos, determinantes de sistemas naturais. Nesta narrativa, a inter-relação entre sociedades que se tornam determinantes de ciclos naturais e ciclos naturais que se desestabilizam criam uma série de histórias possíveis de um futuro de risco causado por essas mudanças do clima.

Entretanto, notamos, ao final do capítulo anterior, que a dimensão humana, os elementos antropogênicos que atuam nas mudanças climáticas e ambientais são traduções de um único elemento: a forçante radiativa dos gases de efeito-estufa, incluído entre as equações físicas que descrevem o sistema climático. As outras atividades humanas apontadas como causas das mudanças de concentração de gases na atmosfera, como a expansão urbana, agrícola e demográfica são indicadas indiretamente apenas em análises posteriores do pesquisador. Elas não estão diretamente presentes nos atuais modelos climáticos como equações, variáveis ou dados numéricos – como as forçantes da concentração dos gases ou os índices de emissões de gases de efeito-estufa.

Michel: O modelo trabalha com cenários de emissões. Ele não inclui a expansão urbana ou agrícola. Os modelos refletem a física da forçante dos gases. A dimensão humana vem através desses dados. É um efeito muito mais indireto do que direto, como quando falamos dos efeitos da produção energética, mudanças do uso do solo ou aumento da urbanização.

Ao longo dos dois capítulos anteriores, pudemos acompanhar como, para esta ciência, processos naturais e processos de origem antrópica são narrados, modelados

e desenvolvidos na forma de equações distintas umas das outras, mas integradas e correlacionadas nos modelos do sistema terrestre. A totalidade do “humano” no sistema climático integrado nesta prática de modelagem computacional assume, portanto, a figuração única e exclusiva de forçante de gases. Ao ser integrado nestes modelos, ao “humano”, na forma de uma série de números de concentração atmosférica de gás carbônico, metano e outros gases compostos de enxofre e nitrogênio, é dada a identidade de agente poluidor e perturbador de um sistema de equações que descrevem as dinâmicas não-humanas do clima global. Sistema que, sem a presença deste “humano”, se comportaria de acordo com as forçantes não-humanas (o sol e os vulcões) e as variabilidades dinâmicas naturais.

Para esta ciência, cujos laboratórios são conjuntos de equações codificadas e calculadas para que sejam conhecidas suas inter-relações e *feedbacks*, a agência humana é vista como um fator compreendido e experimentado somente após ser traduzido em números - obtidos a partir de bancos de dados sobre níveis históricos de concentrações de gases, por meio de medições diretas ou indiretas em bolhas de ar presas no gelo polar, e a partir de inventários de emissões ou cenários de emissões futuras.

A atual ciência do sistema terrestre está em constante busca por melhores modelos teóricos e computacionais de **predição**, que possam trabalhar com as dimensões humanas de forma mais complexa do que apenas por meio dos efeitos dos gases de efeito-estufa e dos aerossóis. Em artigo para o *Bulletin of the American Meteorological Society* de 2010, assinado por Carlos Nobre, Myanna Lahsen e Jean Ometto (Inpe), Guy Brasseur¹²² e outros autores, lemos que:

A ciência do sistema terrestre trata dos processos naturais e antropogênicos que afetam a evolução e em um última análise a habitabilidade do planeta. Nós devemos reconhecer que o sistema terrestre envolve as interações entre a atmosfera, o oceano, o gelo, a superfície terrestre, a bioquímica e a humanidade. A humanidade advertidamente e inadvertidamente perturbou todo o

¹²² O perfil de Carlos Nobre encontra-se no terceiro capítulo (seção 3.5), e Guy Brasseur é um dos mais renomados climatologistas, diretor do Centro de Serviços Climáticos da Alemanha em Hamburgo, ex-deputado do Parlamento Europeu em Bruxelas e pesquisador do *National Center for Atmospheric Research* dos Estados Unidos.

sistema, com consequências positivas e negativas. Então, o desenvolvimento acelerado de um sistema de monitoramento e predição que integre os processos físicos, biogeoquímicos e sociais é essencial se buscarmos a produção de informação quantitativa que pode iniciar e guiar a mitigação e a adaptação às futuras mudanças no sistema da Terra.

(...) Um outro desafio chave para a próxima geração de [modelos do sistema terrestre] é o de incorporar as interações humanas socioeconômicas e de uso da terra. Atualmente não existe nenhum modelo totalmente acoplado.

(...) Introduzir interações entre os sistemas naturais (físicos, químicos e biológicos) e humanos (econômicos, sociais, políticos e culturais) representa um desafio importante no desenvolvimento de sistemas de predição/projeção do sistema terrestre. Os primeiros passos foram feitos, ao serem introduzidos cenários de emissão prescritos em modelos climáticos (...) e ao serem desenvolvidos modelos de impacto para apoiar os processos de decisão. (...) Um passo importante para a frente será acoplar tais modelos [de impacto] com modelos climáticos, e até mesmo meteorológicos, especialmente para a análise de processos regionais. Modelos detalhados econômicos, de energia e uso da terra devem gradualmente substituir os cenários de emissão prescritos nos modelos climáticos (NOBRE et al., 2010, p. 1389, 1391, 1394).

Portanto, qualquer outra forma de considerar a totalidade e a complexidade das dimensões humanas, por meio da inclusão da expansão urbana e agrícola e de qualquer tipo de atividade que não seja medida pela emissão de alguns gases traços, é apresentada pela ciência da modelagem climática como um objetivo futuro que se almeja para ampliar a complexidade e a confiabilidade dos modelos.

Entretanto, mesmo que a totalidade de atividades humanas seja reduzida em apenas um único fator, ela produz força. Esta nova força, produzida pelos laboratórios de modelagem climática a partir da associação entre o elemento aparentemente pequeno do índice crescente de concentração de gases e as simulações computacionais das mudanças decorrentes do clima, gera um encadeamento de decorrências e traduções para o passado e para o futuro.

A história do progresso das revoluções técnico-científicas dos últimos duzentos anos de expansão urbano-industrial é alterada e recontada de forma a narrar a origem das perturbações e poluições antropogênicas em fenômenos atmosféricos. Atividades, até então oficialmente estimulantes ao desenvolvimento e ao progresso urbano, agrícola e industrial, com efeitos situados na natureza local, são associadas a narrativas de risco e a efeitos globais com consequências catastróficas para o nosso futuro.

Por exemplo, no projeto encomendado pelo Ministério do Meio Ambiente a Marengo (2006), mencionado no primeiro capítulo e ao final do capítulo quatro, e no quarto relatório do IPCC, de 2007, podemos acompanhar de que forma o passado do progresso industrial é recontado.

A Terra sempre passou por ciclos naturais de aquecimento e resfriamento, da mesma forma que períodos de intensa atividade geológica lançaram à superfície quantidades colossais de gases que formaram de tempos em tempos uma espécie de bolha gasosa sobre o planeta, criando um efeito estufa natural. Ocorre que, atualmente, a atividade industrial está afetando o clima terrestre na sua variação natural, o que sugere que a atividade humana é um fator determinante no aquecimento. Desde 1750, nos primórdios da Revolução Industrial, a concentração atmosférica de carbono – o gás que impede que o calor do Sol se dissipe nas camadas mais altas da atmosfera e se perca no espaço – aumentou 31%, e mais da metade desse crescimento ocorreu de cinquenta anos para cá. Durante os primeiros séculos da Revolução Industrial, de 1760 até 1960, os níveis de concentração de CO₂ atmosférico aumentaram de uma estimativa de 277 partes por milhão (ppm) para 317ppm, um aumento de 40ppm. Durante as recentes quatro décadas, de 1960 até 2001, as concentrações de CO₂ aumentaram de 317ppm para 371ppm, um acréscimo de 54ppm. Os gases do efeito estufa absorvem parte da energia do Sol, refletida pela superfície do planeta, e a redistribuem em forma de calor através das circulações atmosféricas e oceânicas. Parte da energia é irradiada novamente ao espaço. Qualquer fator que altere esse processo afeta o clima global. Com o aumento das emissões dos gases de efeito estufa, observado principalmente nos últimos 150 anos, mais calor passou a ficar retido (MARENGO, 2006, pp. 25–26).

O fator dominante na forçante radiativa do clima na era

industrial é a concentração crescente de vários gases de efeito-estufa na atmosfera. Vários dos principais gases de efeito-estufa ocorrem naturalmente mas o aumento de sua concentração atmosférica nos últimos duzentos e cinquenta anos é devido principalmente à atividades humanas. Outros gases de efeito-estufa são totalmente resultantes de atividades humanas. (...) Concentrações atuais de CO₂ atmosférico e CH₄ atmosférico excedem em grande medida os valores pré-industriais encontrados em registros da composição atmosférica no gelo polar datando de até 650.000 anos atrás. Múltiplas linhas de evidência confirmam que o aumento pós-industrial destes gases não têm origem em mecanismos naturais (...).

(...) A forçante radiativa total do clima da Terra devido ao aumento das concentrações dos [gases de efeito-estufa] CO₂, CH₄ e N₂O e muito provavelmente a taxa de aumento na forçante total devido a esses gases durante o período desde 1750 não encontra precedentes em mais de 10.000 anos (...)¹²³ (SOLOMON et al. [IPCC], 2007, pp. 23–24).

As decorrências para o futuro desta nova história do passado estão presentes nas análises dos cenários do clima, produzidos a partir das simulações dos modelos climáticos. Por exemplo, nos cenários dos próximos cem anos na América do Sul, produzidos e relatados por Marengo (2006), testemunhamos a produção destes novos arranjos de riscos futuros:

Embora se afirme que ainda não há certeza científica absoluta sobre a relação entre o aquecimento do planeta e os chamados desastres naturais e meteorológicos, a Organização Meteorológica Mundial (OMM) divulgou que esses desastres responderam pela morte de 350 mil

¹²³ No original: “The dominant factor in the radiative forcing of climate in the industrial era is the increasing concentration of various greenhouse gases in the atmosphere. Several of the major greenhouse gases occur naturally but increases in their atmospheric concentrations over the last 250 years are due largely to human activities. Other greenhouse gases are entirely the result of human activities. (...) Current concentrations of atmospheric CO₂ and CH₄ far exceed pre-industrial values found in polar ice core records of atmospheric composition dating back 650,000 years. Multiple lines of evidence confirm that the post-industrial rise in these gases does not stem from natural mechanisms (...). (...) The total radiative forcing of the Earth’s climate due to increases in the concentrations of (...) CO₂, CH₄ and N₂O, and *very likely* the rate of increase in the total forcing due to these gases over the period since 1750, are unprecedented in more than 10,000 years (...)”.

peças e prejuízos de US\$200 bilhões no ano de 2005. Este foi o ano de maior número de tempestades tropicais (26, quebrando o recorde de 23, em 1933), de furacões (14, antes 12, em 1969).

(...) Baseado nas evidências observacionais e tendências já observadas no Brasil, assim como de estudos feitos, considerando as projeções climáticas do futuro derivadas dos modelos climáticos do IPCC, e juntamente com o apanhado de impactos da mudança de clima no Brasil apresentado pelo Greenpeace, no Relatório “Mudanças de Clima, Mudanças de Vida” (...) e outros estudos recentes, os impactos de clima no Brasil seriam os seguintes:

** **Amazônia** – Se o avanço da fronteira agrícola e da indústria madeireira for mantido nos níveis atuais, a cobertura florestal poderá diminuir dos atuais 5,3 milhões de km² (85% da área original) para 3,2 milhões de km² em 2050 (53% da cobertura original). O aquecimento global vai aumentar as temperaturas na região amazônica, e pode deixar o clima mais seco, provocando a savanização da floresta. O aquecimento observado pode chegar até 8oC no cenário pessimista A2. Os níveis dos rios podem ter quedas importantes e a seca do ar pode aumentar o risco de incêndios florestais.*

** **Semi-árido** – As temperaturas podem aumentar de 2oC a 5oC no Nordeste até o final do século XXI. A Caatinga será substituída por uma vegetação mais árida. O desmatamento da Amazônia pode deixar o semi-árido mais seco. Com o aquecimento a evaporação aumenta e a disponibilidade hídrica diminui. O clima mais quente e seco poderia levar a população a migrar para as grandes cidades da região ou para outras regiões, gerando ondas de “refugiados ambientais”.*

** **Zona Costeira** – O aumento do nível do mar vai trazer grandes prejuízos ao litoral. Construções à beira-mar poderão desaparecer, portos poderão ser destruídos e populações teriam que ser remanejadas. Sistemas precários de esgoto entrarão em colapso. Novos furacões poderão atingir a costa do Brasil.*

** **Sudeste e bacia do Prata** – Ainda que a chuva tendesse a aumentar no futuro, as elevadas temperaturas do ar simuladas pelos modelos poderiam, de alguma forma, comprometer a disponibilidade de água para agricultura, consumo ou geração de energia devido a um acréscimo previsto na evaporação ou evapotranspiração. A extensão de uma estação seca em algumas regiões do Brasil poderia afetar o balanço hidrológico regional, e assim*

comprometer atividades humanas, ainda que haja alguma previsão de aumento de chuva no futuro.

** **Região Sul** – A produção de grãos poderá ficar inviabilizada na região Sul do Brasil com o aumento da temperatura, secas mais frequentes e chuvas restritas a eventos extremos de curta duração. As chuvas cada vez mais intensas poderiam castigar as cidades, com grande impacto social nos bairros mais pobres. Ventos intensos de curta duração poderiam também afetar o litoral. Com temperaturas mais altas e extremas em curto espaço, mais doenças seriam registradas.*

** **Agricultura** – Culturas perenes, como a laranja, tendem a procurar regiões com temperaturas máximas mais amenas e a produção poderá se deslocar para o Sul. Elevadas temperaturas de verão vão condicionar o deslocamento das culturas como arroz, feijão, soja para a região Centro-Oeste, promovendo a mudança do atual eixo de produção.*

** **Recursos hídricos** – A redução de chuvas e a diminuição da vazão nos rios vão limitar os esgotos e o transporte fluvial. Poderá haver transbordamento de estações de tratamento e de sistemas de sanitário. A geração de energia ficará comprometida com a falta de chuvas e altas taxas de evaporação devido ao aquecimento, em algumas regiões.*

** **Grandes cidades** – Regiões metropolitanas ainda mais quentes, com mais inundações, enchentes e desmoronamentos em áreas principalmente nas encostas de morro.*

** **Saúde** – Os casos de doenças infecciosas transmissíveis poderão aumentar. A dengue pode se alastrar pelo País. A proliferação tende a aumentar nas áreas urbanas (MARENGO, 2006, pp. 135–137).*

Nesta análise podemos acompanhar a geração de novos coletivos futuros de sociedade e natureza, da mesma maneira que novos coletivos e associações foram produzidos e utilizados recontar a história dos últimos dois séculos. Uma nova natureza, com maior instabilidade, secas e ciclones extremos mais frequentes, uma Amazônia possivelmente mais quente e mais seca, com tendência à savanização, o Semi-árido brasileiro com tendência à desertificação, alastramento de agentes epidêmicos e alterações das culturas agrícolas; e uma nova sociedade, em que o desmatamento e a queima de combustíveis fósseis precisam ser contidos, sob o risco de aumento de casos de doenças tropicais, migrações intensas devido à diminuição

de chuvas ou à mudança do regime climático, consequências econômicas e demográficas dos impactos na produção de alimentos e na ocupação urbana, mais suscetível a extremos de chuva e a escassez de água. Notamos, portanto, que estes domínios de natureza e sociedade, imbuídos de narrativas de risco, são produtos decorrentes das análises das simulações, e não estão presentes nelas.

É essencial notar que, paralelamente ao que foi apontado na última seção do capítulo anterior, essas narrativas produzidas nos laboratórios de modelagem climática produzem metonímias e sinédoques a respeito do “humano”. Estas narrativas traduzem alguns tipos específicos de atividades (relacionadas às atividades urbanas, industriais e agropecuárias que produzem emissões de gases ou aerossóis) na totalidade “dimensão humana”. Como, para esses sistemas físico-matemáticos de equações descrevendo o clima global, apenas algumas atividades têm dimensão e força suficientemente amplas para serem consideradas e calculadas como fatores climáticos, elas são metonimicamente chamadas de “humanas”.

Portanto, se como vimos, nem todas as atividades antropogênicas que criam efeitos no clima (além de emissões de gases) podem ser calculadas nos atuais modelos climáticos, então nem todas as atividades realizadas pelos coletivos humanos entram no rol das “dimensões humanas”. Em decorrência, apenas algumas atividades específicas e especificamente realizadas por alguns coletivos humanos (as sociedade urbano-industriais) são suficientes para imputar culpa e responsabilidade na humanidade por mudanças, catástrofes, risco e poluição. A causa da mudança climática é humana, mesmo que nem todos os humanos façam parte das produções desta causa¹²⁴.

De todo modo, é por meio destas novas narrativas de natureza e sociedade em risco por atividades poluidoras ditas humanas que o híbrido produzido por estas redes científicas (o aquecimento global decorrente de emissões de gases em modelagens de clima) e as invenções produzidas no laboratório (os cenários do futuro distante) vão ser circulados, mobilizados e interessar os outros grupos e outras redes mais extensas, tornando-se lentamente fatos.

¹²⁴ Para discussões antropológicas sobre as complexas relações entre diferentes coletivos humanos e as mudanças climáticas, ver Crate (2011) e também a coletânea organizada por Susan Crate e Mark Nutall, *Anthropology and Climate Change, From Encounters to Actions*, publicada em 2009 pela editora Left Coast Press.

Fatos são elementos centrais nestas redes em expansão, pois circulam entre não-especialistas, deixando as incertezas das práticas cotidianas para trás.

Como os fatos científicos são feitos dentro dos laboratórios, para fazê-los circular, você precisa construir redes custosas, dentro das quais eles podem manter sua eficácia frágil. Se isso significa transformar a sociedade em um vasto laboratório, então o faça (...) (LATOURETTE, 1983, p. 166).

O fato é como a força de uma alavanca – e a alavanca permite que redes muito maiores e mais extensas sejam erguidas e mobilizadas. Desta forma, a produção deste fato e das narrativas de riscos futuros pelos cenários fazem desaparecer as incertezas relativas à materialidade de sua produção, como as controvérsias entre pesquisadores sobre códigos, computadores, infraestrutura, parametrizações, as redes de coleta de dados rarefeitas, as diferentes físicas e químicas, todas as associações frágeis da modelagem climática. As autorias e as histórias particulares de sua produção desaparecem.

Não é o fator das forçantes radiativas dos gases de efeito-estufa na forma de equações codificadas e os inventários de suas emissões industriais, urbanas e agrícolas e concentrações de gases na atmosfera, na forma de dados destas equações, que vai circular por outras redes, mas as narrativas de novos coletivos de natureza e sociedade em risco que são produzidos por estes relatórios a partir da consolidação dos modelos climáticos.

São os riscos futuros à natureza e à sociedade relatados por estes pesquisadores, a partir de suas simulação, que serão associados a uma série de políticas públicas, como a política energética nacional, a política de ocupação do solo e do território, as políticas públicas de defesa civil e ambiental, de estudos de risco e vulnerabilidade de populações e de biomas em mudança. No Brasil, a contenção do desmatamento é uma dos principais traduções dessas associações sociotécnicas. É assim que, segundo Michel:

O clima tem entrado na agenda política. Devido aos cortes de emissões que os países devem realizar para

mitigar as mudanças climáticas. No Brasil, [o ex-presidente] Lula cortou o desmatamento com metas voluntárias. O clima se tornou um palco de debate entre as políticas de desenvolvimento e de sustentabilidade, e não mais dos cientistas.

No Brasil, as emissões vêm mais de cinquenta por cento de mudanças do uso do solo. Diferente do resto do mundo, em que a maior parte das emissões vêm do setor energético. Os aerossóis gerados pelas queimadas e pelas mudanças do uso do solo mudam a radiação.

As mudanças climáticas que estamos observando, e as do futuro que estamos simulando, mostram tendências a impactos sociais muito grandes.

O controle do desmatamento e da queima de combustíveis fósseis é corriqueiramente conhecido como “a descarbonização da sociedade” – em referência ao carbono do gás carbônico, principal gás de efeito-estufa, depois do vapor d’água. O gás carbônico, um dos principais elementos destas redes, híbrido de humano e não-humano, surge como ponto central das controvérsias científicas, tecnológicas, sociais e políticas em torno de como diminuir o impacto humano no clima. Algumas das sugestões sobre como fazer a descarbonização da sociedade são: por meio da redução das emissões e do desmatamento e da diminuição da dependência de combustíveis fósseis; da mudança do comportamento social, com alterações do consumo e da produção que geram emissões de gases de efeito-estufa; pela formulação de políticas ambientais para combater o desmatamento, a poluição industrial e mudar a matriz energética nacional. Os cenários de descarbonização da economia (*decarbonization of the economy*) fazem parte do relatório do Grupo III do IPCC sobre mitigação (EDENHOFER et al. [IPCC], 2014).

Gustavo, pesquisador sênior do Inpe, e aliado de Michel, dá força aos fatos gerados em seus laboratórios de informática ao dizer que “já é possível ver o acontecer o futuro que modelamos” e associa estas mudanças modeladas e observadas a um conjunto de políticas públicas:

A quantidade de eventos climáticos extremos cresceu hipergeometricamente nos últimos anos. Testemunhamos o furacão Catarina em 2004 na costa sul do Brasil, um fenômeno único na história dos registros climáticos. Já é

possível ver acontecer o futuro que modelamos e temos que ter a capacidade de modelar com qual velocidade essas mudanças estão acontecendo, qual a frequência dos fenômenos extremos no futuro e quais os impactos no clima para o Brasil quando desmatamos a floresta, realizamos queimadas frequentes, para saber qual gestão devemos fazer em nossos rios e nossas florestas e das técnicas agrícolas em nosso território, tendo em perspectiva as políticas públicas que devemos adotar hoje e que terão influência decisiva para as próximas gerações.

É por causa da associação entre as ciência das mudanças climáticas e a política que houve o financiamento pelo governo brasileiro destas novas instituições, das compras de supercomputadores e navios de pesquisa, a encomenda de relatórios para o governo, a aprovação de novas políticas de estímulo à ciência das mudanças climáticas e o combate ao desmatamento com uso intensivo de recursos científicos e tecnológicos de monitoramento e modelagem computacional (ver seção 3.5). São formado grupos de pressão e interesse entre estes pesquisadores e seus aliados nas instituições públicas e em setores da sociedade civil¹²⁵, para que novas leis e novas medidas governamentais sejam adotadas para mitigar ou prevenir tais impactos ambientais.

Entretanto, fora das associações seguras, como aquelas com o Ministério do Meio Ambiente e o Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação ou Organizações Não-Governamentais ambientalistas os pesquisadores de mudanças climáticas enfrentam uma série de agentes ainda não interessados ao tentar circular seus cenários e essas narrativas de natureza e sociedade. Durante a CONCLIMA, a primeira Conferência Nacional das Mudanças Climáticas, realizada em setembro de 2013 em São Paulo¹²⁶, testemunhamos diversos relatos sobre o esforço dificultoso

¹²⁵ Descrevemos algumas destas associações entre pesquisadores e instituições governamentais na seção 3.5, mas cabe notar que pesquisadores como Michel e o coordenador dos projetos de que Ivan faz parte fazem parte de conselhos diretores de algumas das principais Organizações Não-Governamentais (ONGs) que tratam da temática ambiental em São Paulo. É necessário um estudo futuro que mapeie estas associações. Para um mapeamento sociológico sobre algumas associações entre política, movimento ambiental e ciência natural ver Alonso, Costa & Maciel (2007).

¹²⁶ A CONCLIMA reuniu os pesquisadores mapeados por este projeto, assim como cientistas de diferentes redes de pesquisa e formuladores de políticas públicas, com o intuito de apresentar os primeiros resultados dos projetos das redes institucionais formadas a partir de 2007 e que foram mapeadas na seção 3.5.

em fazer estas fatos circularem. Um dos coordenadores de uma rede de estudos sobre adaptação e impactos das mudanças climáticas, pesquisador em Campinas, disse:

O resultado principal da nossa rede é que vemos que secas e enchentes mais intensas são mais frequentes. Antes, era uma posição individual de grupos de pesquisa pequenos (...), agora é baseado num coletivo, com revisão ampla, audiência pública, críticas, a voz desta rede consolidada.

Temos potencial de geração de energia eólica e solar no Brasil, mas temos importantes personagens do Ministério de Minas e Energia dizendo que vão ampliar mais geração de energia termelétrica, e quase passamos mal ao ouvir isto. Temos muitas opções de geração energia, mas os biocombustíveis são pouco explorados pelo governo.

O código florestal não foi o dos nossos sonhos, mas foi o que deu pra fazer, vamos torcer para que o reflorestamento dê certo nas zonas de proteção.

(...) Há mais eventos extremos, com mais riscos a desastres nas áreas urbanas, mas isso tem pouca entrada na pauta e na agenda dos setores municipais.

(...) A conclusão é que nenhum de nós vai ser tão atingido quanto o grande número de populações desassistidas [pelo governo] que temos hoje no Brasil.

Um outro coordenador de um projeto de modelagem climática, desta vez do Inpe em São José dos Campos, afirmou:

É preciso formar uma rede para traduzir nosso conhecimento sobre mudanças climáticas em políticas públicas e envolvermos o setor privado, para sairmos dessa demência negacionista da mudança do clima. Devemos entender que sim as mudanças climáticas existem e estamos vivendo seus impactos.

(...) Nós estamos falhando na comunicação com a população, entre os pesquisadores e entre os gestores de políticas públicas. É uma questão de segurança pública ambiental, médica, jurídica, alimentar, de recursos hídricos. Por exemplo, São Paulo é um incrustado de concreto e cimento, uma ilha de calor, e a reserva da biosfera, o cinturão verde de São Paulo, desempenha um papel na circulação e na

manutenção do clima na cidade. Mas vemos a insensibilidade do poder executivo e dos gestores no que concerne a reserva da biosfera na regulação climática numa área de 20 milhões de pessoas. (...)

Como cientistas cientes da questão ambiental, é nosso dever cívico disponibilizar nossas informações para o público brasileiro, além de publicar na Nature e na Science.

Em outro momento, após a discussão sobre as dimensões humanas e culturais das mudanças climáticas, ele também afirmou:

(...) É um processo maior, no qual nós temos a responsabilidade que, tendo o conhecimento, de que forma nós alteramos o futuro da nossa nação, usando o nosso conhecimento para as quebras de paradigmas.

(..) O nosso trabalho é um trabalho para sempre, o conhecimento que nós trazemos pode modificar a sociedade, se nós não nos contentarmos aos papers publicados na Nature. Uma coisa acachapante para mim é como um país tropical como o Brasil não produz energia eólica. Quero trazer uma discussão mais profunda, para não ficarmos mais nos nossos conhecimentos específicos. Nós ficamos contentes e nós aplaudimos que o desmatamento caiu, mas continua no nível de 5 mil quilômetros quadrados anuais, já pensou o quanto é isso, de floresta?

(...) Existe um conceito de Brasil. Não sei se é um conceito muito claro para as pessoas que precisam ganhar dinheiro, quando eu lhes digo isso: existe um plano federal de construir hidrelétricas em lagos na Amazônia. Então, eu pego o produto de pesquisa de 30 anos de LBA, que nos diz que esses lagos produzem metano. (...) Como eu norteio políticas com o conhecimento? Senão eu continuo produzindo conhecimento para inglês ver.

Em seguida, um outro coordenador de projetos de modelagem climática, colega de Michel, menciona que:

O conhecimento está sendo adquirido, mas ele não é efetivamente utilizado. A comunicação (...) é algo crucial da ciência, e estamos falhando na forma como transferimos o conhecimento. O que está falhando para que essa informação

não esteja chegando? [A discussão em torno do] plano diretor de São Paulo não inclui ninguém do clima, nem o PAC¹²⁷, nem a transposição do São Francisco. (...) É importante que essa ciência dura não fique entre nós.

O aquecimento global tornado fato e como os cenários de riscos futuros enfrentam redes e atores que não foram interessados pelos projetos de “descarbonização da economia”: atores da política energética, envolvidos principalmente na exploração de petróleo em território nacional, atores da política industrial, de exportação e de infraestrutura, política dos transportes, cujas alianças estimulam investimentos contínuos na exploração dos combustíveis fósseis e na produção de máquinas que os utilizam, da política urbana e a especulação imobiliária, do agronegócio e a ocupação agressiva dos territórios na Amazônia e no Cerrado, e as bancadas ruralistas no Congresso Nacional¹²⁸. Atores destas redes mantêm associações com elementos heterogêneos vinculados à emissão de gás carbônico e não foram atualmente interessados pelas redes sociotécnicas que promovem a “descarbonização” de suas práticas.

Quando fatos e narrativas circulam através destas redes mais extensas, eles enfrentam novos testes de força que os tornam frágeis e incertos novamente, pois o poder dos pesquisadores de interessar grupos diversos de não-especialistas em direção a seus produtos científicos enfrenta interposições e contra-interesses. As atuais controvérsias para os próprios pesquisadores mapeados aqui estão justamente no encontro entre cientistas, formuladores de políticas e atores dos mais diversos ramos. Sobre a não circulação do fatos produzidos por estas redes e que, para os cientistas presentes na CONCLIMA, gera uma intensa incompreensão, podemos compreender como um não-interessamento (Callon, 1986) ou a não-produção de um lugar para a extensão destas redes.

¹²⁷ O Plano de Aceleração de Crescimento do governo federal das gestões do ex-presidente Lula e da presidente Dilma, com grandes investimentos em infraestrutura e geração de energia.

¹²⁸ Um encontro pouco amistoso entre a bancada ruralista e a rede científica de mudanças climáticas ocorreu no Congresso Brasileiro durante os debates sobre o novo código florestal. Cf. o artigo de Jean Horchsprung Miguel, doutorando da UNICAMP, na revista eletrônica de jornalismo científico, *Comciencia*, “Ouvir a ciência, salvar a floresta, enfrentar as controvérsias, pensar a democracia”, disponível em:

<http://www.comciencia.br/comciencia/handler.php?section=8&edicao=92&id=1133>

Está além do escopo do presente trabalho aprofundarmo-nos nesta questão de importância central e que deverá ser desenvolvida e descrita por pesquisas futuras: a de como estes fatos e associações produzidas pelas redes tecnocientíficas da modelagem climática circulam sob constante risco, confrontando-se com diferentes coletivos e redes para além dos ambientes seguros da ciência.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em suma, percorremos neste trabalho o longo caminho criado por diferentes grupos de pesquisadores ao longo da história dos últimos dois séculos em sua incessante busca por descrever, compreender e explicar os fenômenos atmosféricos e climáticos.

Esta história teve início com formação das disciplinas científicas modernas e positivas da meteorologia e da climatologia no século XIX e com a criação de redes nacionais e internacionais responsáveis por medir e registrar localmente séries de temperatura, pressão atmosférica, vento e umidade e a descrever os fenômenos atmosféricos com base neste conjunto de parâmetros (cf. capítulos 2 e 3). O sistema duplo de categorias de tempo e clima foi produzido e estabilizado nesta mesma época (ver seção 2.1.1). A categoria tempo referia-se a estes fenômenos locais e momentâneos, como chuva ou seca, ciclones ou vendavais, decorrentes das interações entre estes parâmetros. A categoria clima foi estabelecida como a série estatisticamente produzida na longa duração dos padrões variáveis destes parâmetros.

A própria atmosfera e os oceanos, seus padrões de circulação, suas composições e seus comportamentos, foram transformadas em categorias da ciência natural neste período. Após séries de pesquisas laboratoriais durante o século XIX, a atmosfera foi compreendida como uma redoma transparente para a radiação solar, mas, graças a sua composição gasosa específica, translúcida para a radiação refletida de volta ao espaço – fenômeno que veio a ser compreendido efeito-estufa, inspirado em estudos em redomas de vidro e estufas (ver seção 2.2.1). O fenômeno da variabilidade climática foi estabelecido pela climatologia como categoria natural,

decorrente dos desequilíbrios e buscas por equilíbrios pelo sistema atmosférico constantemente aquecido pelo sol.

À atmosfera foi dado o papel de mantenedora do calor responsável pela vida na terra e qualquer alteração de sua composição gasosa, escreveram alguns cientistas do final do século XIX e início do século XX, seria responsável por alterar a quantidade de calor retido por ela – a origem do que chamamos de mudanças climáticas. Estudos de físicos, químicos, meteorologistas e climatologistas no final do século XIX e início do século XX criaram a correlação entre um provável aquecimento global futuro e as atividades humanas, na forma de emissões de gases, decorrentes da queima de combustíveis fósseis desde o início da Revolução Industrial, e que poderiam alterar a composição global da atmosfera (ver seção 2.2.2).

Redes internacionais de pesquisa sobre padrões globais de circulação atmosférica e oceânica foram formadas no período pós-guerra, estimulados pela corrida armamentista nuclear entre o bloco liderado pelos Estados Unidos e o bloco liderado pela União Soviética e os riscos climáticos decorrentes de explosões nucleares, mas também pela cooperação científica internacional promovido por organizações internacionais no âmbito das Nações Unidas (seção 3.1). Impossíveis de serem trazidos para dentro dos laboratórios científicos, os fenômenos atmosféricos e oceânicos, com a invenção da computação no final dos anos 1940, passaram a ser simulados pelos primeiros modelos computacionais (seção 3.3).

As narrativas ecológicas do século XIX, que promoviam a necessidade de proteção de ambientes locais de atividades humanas poluidoras, expandiram seu escopo para a escala global, apontando para os riscos globais das atividades humanas. A expansão do objeto das narrativas ambientalistas para o globo acompanhou outras: a expansão das ciências atmosféricas, que estabeleciam redes de medição em todo o planeta (ver seção 3.2); a expansão das atividades urbano-industriais e militares, durante o período de desenvolvimento do chamado terceiro mundo; e a expansão dos riscos de interferência global no planeta, com a eventual deflagração de uma guerra nuclear entre as superpotências. É deste período a formação dos primeiros congressos e fóruns internacionais de discussão da chamada questão ambiental global, durante as décadas de 1970, 1980 e 1990 (ver seção 3.4).

Fóruns internacionais especificamente dedicados a tratar de eventuais interferências humanas no clima foram criados – tanto entre cientistas, como o IPCC, como entre diplomatas, como o UNFCCC. No início dos anos 1990, o Brasil recém-democratizado foi sede de um destes fóruns ambientais internacionais, a Eco-92, momento importante para história nacional da ciência ambiental e a política ambiental desde então. O Ministério do Meio Ambiente foi criado, o Tratado de Não-Proliferação de Armas Nucleares foi ratificado e a ciência brasileira testemunhou expansões de seu financiamento e sua pesquisa, com a compra de supercomputadores e a formação de redes de pesquisadores dedicados a estudar as mudanças climáticas, importando, modificando e produzindo modelos computacionais para tratar do clima (ver seção 3.5).

Estes modelos computacionais simulam o clima terrestre no passado, presente e futuro por meio de um conjunto de equações físicas, calculadas matematicamente e codificadas por meio da programação computacional (ver capítulo 4). A tecnologia atual impede que fenômenos contínuos sejam calculados de forma eficaz e satisfatória, devido às enormes demandas infraestruturais e de cálculo necessárias para isso, o que faz com que espaço, tempo e processos contínuos sejam discretizados pela matemática e pela computação: séries espaço-temporais contínuas são tratadas de forma aproximada como séries de elementos discretos e as equações que descrevem processos não-lineares são transformadas em aproximações lineares.

O tempo é dividido em séries discretas de meses, estações e anos para que o modelo possa produzir diversas simulações de centenas de anos – séries mais curtas de tempo geram infinitamente mais dados, o que faz com que os atuais supercomputadores não sejam capazes de funcionar de forma eficiente. O espaço simulado pelo modelo é compartimentalizado em grades espaciais, cuja resolução é muito grande para que seja atualmente possível a inclusão de uma série de elementos importantes para a dinâmica climática, como nuvens, aerossóis e diferentes ocupações humanas em áreas urbanas e agrícolas e que precisam ser parametrizados – descritos em cada célula da grade, mas não resolvidos da mesma forma que as equações dinâmicas.

Os modelos descrevem o clima como um sistema complexo formado por um conjunto *acoplado* de relações entre elementos atmosféricos, oceânicos, biosféricos, criosféricos e biogeoquímicos. Cada conjunto é produzido por redes de cientistas

atmosféricos, oceanógrafos, glaciologistas, físicos e químicos e transformado em modelos atmosféricos, oceânicos, de gelo e de superfície e depois associados uns aos outros. Os modelos, portanto, produzem uma série de traduções e associações entre diferentes elementos, calculados por supercomputadores. Estas diferentes traduções, reduções, discretizações e aproximações, ao mesmo tempo em que permitem a produção de simulações e cenários que são considerados como o “real” ou a melhor descrição possível da realidade, geram incertezas, ruídos e erros constantes. As simulações são constantemente testadas e verificadas em comparação aos dados observados, de forma a melhorar suas descrições e seus processos – muitas vezes às custas das teorias mais corretas.

Os diferentes elementos locais, associados de forma a permitir a experimentação do clima global, geram constantes problemas de tradução. O global, almejado por uma ciência cujo objeto de pesquisa é o sistema terrestre do clima, nesses modelos climáticos é interpolado a todo o momento por ruídos dos elementos locais. Tipos de chuva, nuvens e rios locais, fenômenos locais, parcialmente conhecidos e descritos pelas parametrizações, ou séries de dados de regiões pouco habitadas e, portanto, com poucas medições no tempo e na história representam constantes problemas aos modelos, que se pretendem globais e universais, obrigando os pesquisadores a extrapolar dados em muitos casos. Há o constante trabalho de como trazer essas ciências para o local, descrevendo melhor processos locais e pouco domesticados às atuais descrições científicas, e de como levar o local para essas ciências, tornando-as mais robustas quando as simulações são verificadas pela comparação ao observado.

O sistema climático é descrito e experimentado como constantemente em busca de equilíbrio, devido aos forçamentos da radiação solar e da concentração de gases atmosféricos que o desequilibrio, aquecendo-o. Esses elementos externos que movem o clima, da mesma forma que o combustível e a combustão movem uma máquina, são tratados como *fatores*, ou *forçantes* no jargão nativo, na medida em que inserem perturbações ou transformações neste sistema. O sol é o fator climático primordial, pois gera a radiação que aquece a superfície terrestre, devido à composição atmosférica e oceânica que absorvem, refletem e trocam calor. As dimensões humanas, o conjunto de atividades e ocupações de ambientes das sociedades humanas ao redor do planeta, são incorporadas ao sistema na forma

reduzida de um único *fator*. Emissões globais de gases de efeito-estufa, decorrentes deste conjunto de atividades, são traduzidas de forma incerta e aproximada em valores numéricos a serem incluídos como cálculos matemáticos no conjunto geral de equações do modelo - da mesma maneira que são inseridos dados de temperatura, pressão, vento, umidade, salinidade e radiação retida pela atmosfera.

Ao longo da história da climatologia, foi preciso imaginar e produzir a purificação e a diferença ontológica entre dinâmicas climáticas naturais e atividades humanas, cada qual compreendida como componente independente entre si, para então poder pensar as misturas e as inter-relações entre elas nas simulações do comportamento do clima nestes modelos computacionais. As séries distintas de natureza e sociedade nos modelos climáticos são experimentadas de forma a compreender as repercussões mútuas entre elas, resultando nas simulações e cenários futuros.

O humano, nas composições produzidas por estas redes de modelagem climática, é reduzido a um dado, cujo papel é o de perturbar um sistema que, de outra forma, seria simulado como caótico, mas eternamente em busca de um equilíbrio e estável na medida em que funciona regado por suas próprias dinâmicas. As atividades humanas, traduções e reduções das atividades locais especificamente urbanas, industriais e agropecuárias modernas e expandidas globalmente por diferentes ondas crescimento e desenvolvimento urbano e industrial nos últimos três séculos, são compreendidas como o lado poluidor neste sistema. Sua adição aos modelos climáticos cria interferência na série de processos ditos naturais, o que gera as mudanças climáticas.

As mudanças, portanto, são relatadas por essas narrativas científicas e sociais de risco e catástrofe na forma de transformações de padrões climáticos padronizados. Elas adicionam o risco da desestabilização a esse sistema. Um conjunto de cenários são, então, produzidos para simular diferentes projeções de emissões de gases e as decorrentes alterações climáticas. Análises são feitas a partir destes cenários para mostrar como a desestabilização dos padrões climáticos é fator responsável pela provável desestabilização futura de ecossistemas, sociedades, regimes urbanos, saúde pública, culturas agrícolas, entre outros.

Partimos na Introdução de dois conjuntos de narrativas. Um, feito por Bruno Latour e demais autores dos *science studies*, que buscavam compreender a sociedades como coletivos repletos de sujeitos, objetos, fatos e coisas, humanos e não-humanos e que foi um fio condutor da rede que contamos aqui. O outro, promovido pelas ciências das mudanças climáticas, compreende os sistemas naturais como coletivos produzidos igualmente por dinâmicas naturais e dimensões humanas. Ambos os conjuntos de narrativas misturam domínios ontológicos originalmente pensados como distintos pela ciência moderna. Em suas simulações computacionais novas naturezas e novas sociedades são produzidas.

Percebemos ao final deste trabalho que as ciências das mudanças climáticas ainda operam por meio de categorias purificadas, como sistemas naturais em busca de equilíbrio e perturbações criados pela presença humana na Terra. Sayre (2012) escreve que essas narrativas científicas mantêm a divisão entre uma natureza purificada e selvagem a ser protegida e uma humanidade poluidora, cuja origem remonta aos primórdios das narrativas de progresso da revolução industrial e as diferentes contramanifestações românticas.

Os cenários indicam o risco constante dessas misturas perigosas entre domínios que, para as classificações modernas, deveriam ser mantidos distintos. Somos clamados a mudar nossos hábitos, tecnologia, modos de vidas de modo a produzir cada vez menos entidades poluidoras e perturbadoras, como gases de efeito-estufa. Caso contrário, seremos testemunhas de mudanças catastróficas dos padrões climáticos, essenciais para a produção de alimentos e conservação dos ambientes urbanos e naturais como os conhecemos hoje.

Estas ciências estão em busca de no futuro poder tratar e simular o sistema terrestre como uma relação dinâmica entre ambas as séries de elementos, e poder complexificar as atuais reduções dos coletivos humanos a meros valores numéricos de índices de concentração de gases de efeito-estufa – buscando novas formas de inserir a complexidade das dimensões humanas em suas descrições.

Uma consequência possível, que podemos sugerir de forma antecipada, da futura inclusão da complexidade das atividades humanas e sua presença e ocupação no planeta dentro dos modelos computacionais do sistema terrestre talvez seja uma transformação das atuais descrições dos sistemas físicos naturais, dos ecossistemas

e das dimensões humanas como domínios distintos mas interativos em novas descrições de um sistema terrestre interconectado¹²⁹, com consequências profundas na forma como encaramos os conjuntos de entidades e relações entre humanos e não-humanos.

¹²⁹ Para relatos e experimentações sobre novas aliança possíveis entre humanos e não-humanos em descrições da ciência naturais e humanas, que encontram-se além do escopo de trabalho deste projeto apesar de tangenciá-lo de diversas maneiras, ver os recentes desenvolvimentos de Isabelle Stengers e Bruno Latour sobre cosmopolíticas (cf. Latour & Weibel (orgs.), *Making Things Public: Atmospheres of Democracy*, The MIT Press, 2005; Isabelle Stengers, *Cosmopolitics*, University of Minnesota Press, 2010). Ver também o desenvolvimento da teoria de Gaia de James Lovelock (cf. Lovelock, *A Vingança de Gaia*, Intrínseca, 2006; José Eli da Veiga (org.), *Gaia - de Mito a Ciência*, Editora Senac, São Paulo, 2012). Ver também relatos de novas teorias de climatologistas, como, por exemplo, de “rios voadores” (*flying rivers*) ou “rios aéreos” (*aerial rivers*) ou a da “bomba biótica” (*biotic pump*), que descrevem ecossistemas, como a floresta amazônica, regulando regimes climáticos, da mesma maneira que são regulados por eles - uma nova abordagem que não percebe ecossistemas apenas como reflexos ou objetos de regimes climáticos previamente existentes, mas agentes centrais do estabilização e regulação dos ciclos do sistema terrestre, uma importante transformação na ciência climática em termos de definições de agenciamento e complexidade (cf. o trabalho dos pesquisadores russos Makarieva & Gorshkov disponíveis em: <http://www.bioticregulation.ru/pump/pump7.php> ; um artigo de divulgação científica do climatologista brasileiro Antonio D. Nobre (Inpe), que também pesquisa a bomba biótica: Nobre, “As Florestas Crescem onde Chove, ou Chove onde Crescem Florestas?”, in: Instituto SocioAmbiental. (Org.). Almanaque Brasil Socioambiental. São Paulo: ISA, 2007, p. 368-369).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A guide to facts and fictions about climate change. . [s.l.] The Royal Society, 2005.

ALONSO, A.; COSTA, V.; MACIEL, D. Identidade e Estratégia na Formação do Movimento Ambientalista Brasileiro. **Novos Estudos CEBRAP**, v. 79, p. 151–167, 2007.

ALVES, D. S. Taking things public: a contribution to address human dimensions of environmental change. **Philosophical Transactions of the Royal Society B**, v. 363, p. 1903–1909, 2008.

ALVES, D. S. Inter-disciplinarity, Human-Environmental Interactions and the All-Sidedness of Man. **GLP News**, v. 8, 2012a.

ALVES, D. S. Two Cultures, Multiple Theoretical Perspectives: The Problem of Integration of Natural and Social Sciences in Earth System Research. In: YOUNG, S. (Ed.). . **International Perspectives on Global Environmental Change**. [s.l.] InTech, 2012b.

AMBRIZZI, T. et al. **Relatório N. 3. Cenários Regionalizados de Clima no Brasil e América do Sul para o Século XXI: Projeções de clima futuro usando três modelos regionais**. São Paulo: MMA, 2007.

AMBRIZZI, T.; ARTAXO, P. Aquecimento global: menos mito e mais ciência. **Jornal da USP**, 10 set. 2012.

BALAZINA, A. Céticos do clima na Geografia da USP. **O Estado de São Paulo**, 19 out. 2011.

BARBOZA, C. **História da Meteorologia no Brasil (1887-1917)**. XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2006, Florianópolis. **Anais...** Rio de Janeiro: SBMET, 2006

BLOOR, D. Anti-Latour. **Studies in History and Philosophy of Science**, v. 30, n. 1, p. 81–112, 1999.

CALLON, M. Some elements of a sociology of translation: domestication of the scallops and the fishermen of St. Brieux Bay. In: LAW, J. (Ed.). . **Power, Action and Belief: A New Sociology of Knowledge?**. [s.l.] Keele: Sociological Review Monograph, 1986.

CALLON, M.; LATOUR, B. Unscrewing the big Leviathan: how actors macro-structure reality and how sociologists help them to do so. In: KNORR, K.; CICOUREL, A. (Eds.). . **Advances in Social Theory and Methodology**. Londres: Routledge, 1981. p. 277–303.

CAMARA, E. Céticos do clima sem voz na imprensa brasileira. **BBC Brasil - Planeta Clima**, 8 nov. 2011.

COLLINS, H.; PINCH, T. **O Golem - o que você deveria saber sobre ciência**. Belo Horizonte: Fabrefactum, 2010.

COX, P. M. et al. Increasing risk of Amazonian drought due to decreasing aerosol pollution. **Nature**, v. 453, p. 212–215., 2008.

CRATE, S. A. Climate and Culture: Anthropology in the Era of Contemporary Climate Change. **Annual Review of Anthropology**, v. 40, p. 175–194, 2011.

CRUTZEN, P. J. Geology of mankind. **Nature**, v. 415, n. 23, 2002.

CRUTZEN, P. J.; STOERMER, E. F. The Anthropocene. **Glob. Change Newsl.**, v. 41, p. 17–18, 2000.

DEMERITT, D. The Construction of Global Warming and Politics of Science. **Annals of the Association of American Geographers**, v. 91, n. 2, p. 307–337, 2001.

DÖRRIES, M. The Politics of Atmospheric Sciences: “Nuclear Winter” and Global Climate Change. **Osiris**, v. 26, n. 1, p. 198–223, 2011.

EASTERBROOK, S. M.; JOHNS, T. C. Engineering the Software for Understanding Climate Change. **Computing in Science & Engineering**, v. 11, n. 64, 2009.

EDENHOFER, O. et al. **Climate Change 2014, Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge: Cambridge University Press, 2014.

EDWARDS, P. N. Meteorology as Infrastructural Globalism. **Osiris**, v. 21, n. 1, p. 229–250, 2006.

EDWARDS, P. N. **A Vast Machine: computer models, climate data, and the politics of global warming**. Cambridge: The MIT Press, 2010.

EM-IAG/USP. **Boletim Climatológico Anual da Estação Meteorológica do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo**. v. 16. São Paulo: EM-IAG/USP, 2012. Disponível em: <<http://www.estacao.iag.usp.br/Boletins/2012.pdf>>.

ESTEVES, B. Aqui e Agora. **Ciência Hoje**, 27 jul. 2010a.

ESTEVES, B. Debate Aquecido. **Ciência Hoje**, 29 jul. 2010b.

ESTEVES, B. Contadores de Carbono. **Revista Piauí**, jun. 2011.

FAPESP. **1º Simpósio Brasileiro de Mudanças Ambientais Globais**. Disponível em: <<http://agencia.fapesp.br/6568>>.

FAPESP. **Contribuições da pesquisa paulista para o conhecimento sobre mudanças climáticas**. São Paulo: FAPESP, 2008.

FAPESP. **Eventos Rede Mudanças Climáticas**. Disponível em: <<http://www.fapesp.br/7785>>.

FIORAVANTI, C. Clima, versão 2.0. **Revista Pesquisa FAPESP**, nov. 2010.

FLEMING, J. R. **Historical Perspectives on Climate Change**. New York: Oxford University Press, 1998.

FLEMING, J. R. Global Climate Change and Human Agency. Inadvertent Influence and “Archimedean” Interventions. In: FLEMING, J. R.; JANKOVIC, V.; COEN, D. (Eds.). **Intimate Universality. Local and Global Themes in the History of Weather and Climate**. Sagamore Beach: SHP, 2006. p. 223–248.

FRANKLIN, S. Science as Culture, Cultures of Science. **Annual Review of Anthropology**, v. 24, p. 163–184, 1995.

FREITAS, E. D. DE; AMBRIZZI, T. Impacto da Rio-92 na produção científica da USP considerando o tópico Mudanças Climáticas. **Estudos Avançados**, v. 26, n. 74, p. 341–350, 2012.

GLANTZ, M. H. **Currents of Change. Impacts of El Niño e La Niña on Climate and Society**. Cambridge: Cambridge University Press, 2001.

GLEICK, J. **Chaos: Making a New Science**. New York: Viking Penguin, 1987.

GRINBERG, K. Meteorologia, história e tempestades imprevistas. **Ciência Hoje**, 7 jan. 2011.

HESS, D. J. **Science Studies. An Advanced Introduction**. New York: NYU Press, 1997.

HOCKENBERRY, J.; UPIN, C. **Climate of Doubt** United States Frontline - PBS, , 28 out. 2012.

HOUGHTON, J. T. et al. (EDS.). **Climate Change 1995. The Science of Climate Change. Contribution of WGI to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. [s.l.] Cambridge University Press, 1995.

HOUGHTON, J. T. et al. (EDS.). **Climate Change 2001. The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. [s.l.: s.n.].

HOUGHTON, J. T.; CALLANDER, B. A.; VARNEY, S. K. (EDS.). **Climate Change 1992. The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment**. [s.l.] Cambridge University Press, 1992.

HOWKINS, A. Melting Empires? Climate Change and Politics in Antarctica since the International Geophysical Year. **Osiris**, v. 26, n. 1, p. 180–197, 2011.

HULME, M. **Why we disagree about Climate Change - understanding controversy, inaction and opportunity**. 2nd. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2009. p. 392

HULME, M. et al. Unstable climates: Exploring the statistical and social constructions of “normal” climate. **Geoforum**, v. 40, p. 197–206, 2009.

HULME, M. Reducing the Future to Climate: A Story of Climate Determinism and Reductionism. **Osiris**, v. 26, n. 1 (Klima), p. 245–266, 2011.

IPCC. **Principles governing IPCC work**. Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change, 2012. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch/pdf/ipcc-principles/ipcc-principles.pdf>>.

KUGLER, H. O tal do IPCC - Entrevista com Paulo Artaxo. **Ciência Hoje**, jun. 2012.

LAHSEN, M. Seductive Simulations? Uncertainty Distribution around Climate Models. **Social Studies of Science**, v. 35, n. 6, p. 895–922, 2005.

LAHSEN, M. Anthropology and the Trouble of Risk Society. **Anthropology News**, n. December, p. 9–10, 2007.

LAHSEN, M. Experiences of modernity in the greenhouse: A cultural analysis of a physicist “trio” supporting the backlash against global warming. **Global Environmental Change**, v. 18, p. 204–219, 2008.

LAHSEN, M. A science-policy interface in the global south: the politics of carbon sinks and science in Brazil. **Climatic Change**, v. 97, p. 339–372, 2009a.

LAHSEN, M. O Debate sobre Mudanças Climáticas. **Folha de São Paulo**, 3 abr. 2009b.

LATOUR, B. Give Me a Laboratory and I will Raise the World. In: KNORR-CETINA, K.; MULKAY, M. (Eds.). . **Science Observed: Perspectives on the Social Study of Science**. London: Sage, 1983.

LATOUR, B. **The Pasteurization of France**. Cambridge: Harvard University Press, 1988.

LATOUR, B. One More Turn after the Social Turn: Easing Science Studies into the Non-Modern World. In: MCMULLIN, E. (Ed.). . **The Social Dimensions of Science**. [s.l.] Notre Dame University Press, 1992. p. 272–292.

LATOUR, B. **Jamais Fomos Modernos: ensaio de antropologia simétrica**. São Paulo: Editora 34, 1994.

LATOUR, B. **Ciência em Ação: como seguir cientistas e engenheiros sociedade afora**. Bauru: UNESP, 2000a.

LATOUR, B. When things strike back: a possible contribution of “science studies” to the social sciences. **British Journal of Sociology**, v. 51, n. 1, p. 107–123, 2000b.

LATOUR, B. **A Esperança de Pandora: ensaios sobre a realidade dos estudos científicos**. Bauru: EDUSC, 2001.

LATOUR, B. **Políticas da Natureza: como fazer ciência na democracia**. Bauru: EDUSC, 2004.

LATOUR, B. La cartographie des controverses. **Technology Review**, v. 0, p. 82–83, 2007.

LATOUR, B. et al. The Whole is Always Smaller Than its Parts - a digital test of Gabriel Tarde’s Monads. **British Journal of Sociology**, v. 63, n. 4, p. 590–615, 2012.

LATOUR, B.; WEIBEL, P. (EDS.). **Making things public. Atmospheres of Democracy**. Karlsruhe/Cambridge: ZKM/The MIT Press, 2005.

LATOUR, B.; WOOLGAR, S. **Laboratory Life: the Social Construction of Scientific Facts**. Los Angeles: Sage Publications, 1979.

LAW, J. Technology and Heterogeneous Engineering: The case of Portuguese Expansion. In: BIJKER, W. E.; HUGHES, T. P.; PINCH, T. (Eds.). . **The Social Construction of Technological Systems**. Cambridge: MIT Press, 1989. p. 111–134.

LAW, J. Notes on the Theory of Actor-Network: ordering, strategy and heterogeneity. **Systems Practice**, v. 5, n. 4, 1992.

LOPES, R. J. Ceticismo climático não “pega” no Brasil. **Folha de São Paulo**, 21 abr. 2010.

MARENGO, J. A. **Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI**. Brasília: MMA, 2006.

MARENGO, J. A. Use of Regional Climate Models in Impacts Assessment and Adaptations Studies from Continental to Regional and Local Scales. The CREAS (Cenários Climáticos REgionalizados de Mudança de Clima para América do Sul) Initiative in South America. In: RIBEIRO, P. L. DA S. D.; COSTA, W. N.; HIDALGO, L. (Eds.). . **A Contribution to Understanding the Regional Impacts of Global Change in South America** [Obj]. São Paulo: Instituto de Estudos Avançados da Universidade de São Paulo (IEA/USP), 2007. p. 412.

MARENGO, J. A. et al. The Drought of Amazonia in 2005. **Journal of Climate**, v. 21, n. 1, p. 495–516, 2008.

MARTIN, E. Anthropology and the Cultural Study of Science. **Science, Technology & Human Values**, v. 23, n. 1, p. 24–44, 1998.

MASCO, J. Bad Weather: On Planetary Crisis. **Social Studies of Science**, v. 40, n. 1, p. 7–40, 2010.

MEDEIROS, M. Clima em Ebulição na SBPC. **Jornal da Ciência**, 29 jul. 2010.

MONTEIRO, M. S. A.; MIGUEL, J. C. H. **Modelos do Clima, Modelos Políticos: Uma breve historiografia da previsão numérica e modelagem climática no CPTEC/INPE**Anais da IV Reunião de Antropologia da Ciência e da Tecnologia. **Anais...**Campinas: UNICAMP, 2013

NOBRE, C. Florestas tropicais e o Protocolo de Quioto. **O Estado de São Paulo**, 2003.

NOBRE, C. et al. Addressing the complexity of the Earth System. **Bulletin of the American Meteorological Society**, p. 1389–1396, 2010.

OLIVEIRA, F. DE. Cientistas que creem no Aquecimento Global dizem o pensam sobre os céticos. **Agência Universitária de Notícias ECA/USP**, 6 jul. 2012.

ORESQUES, N.; SHRADER-FRECHETTE, K.; BELITZ, K. Verification, Validation, and Confirmation of Numerical Models in the Earth Sciences. **Science**, v. 263, n. 5147, p. 641–646, 1994.

PAINTER, J. **Poles Apart. The international reporting of climate scepticism**. Oxford: The Reuters Institute for the Study of Journalism - University of Oxford, 2011. p. 136

PRIGOGINE, I.; STENGERS, I. **A Nova Aliança. A Metamorfose da Ciência**. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 1984. p. 284

REBOITA, M. S. et al. Entendendo o Tempo e o Clima na América do Sul. **Terræ Didática**, v. 8, n. 1, p. 34–50, 2012.

REVELLE, R.; SUESS, H. E. Carbon Dioxide Exchange Between Atmosphere and Ocean and the Question of an Increase of Atmospheric CO₂ during the Past Decades. **Tellus**, v. 9, n. 1, p. 18–27, 1957.

SANTOS, P. M. DOS. **Instituto Astronômico e Geofísico da USP. Memória sobre sua formação e evolução**. São Paulo: EDUSP, 2005.

SAYRE, N. The Politics of the Anthropogenic. **Annual Review of Anthropology**, v. 41, p. 57–70, 2012.

SCHAFFER, S.; SHAPIN, S. **Leviathan and the Air Pump**. Princeton: Princeton University Press, 1985.

SCHAMA, S. **Paisagem e Memória**. São Paulo: Companhia das Letras, 1996. p. 645

SHACKLEY, S. et al. Uncertainty, Complexity and Concepts of Good Science in Climate Change Modelling: Are GCMs the Best Tools? **Climatic Change**, v. 38, p. 159–205, 1998.

SHACKLEY, S.; WYNNE, B. Representing Uncertainty in Global Climate Change Science and Policy: Boundary-Ordering Devices and Authority. **Science, Technology & Human Values**, v. 21, n. 3, p. 275–302, 1996.

SOLOMON, S. et al. (EDS.). **Climate Change 2007. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.

STENGERS, I. **A invenção das ciências modernas**. São Paulo: Editora 34, 2002.

STENGERS, I. **Cosmopolitics I**. Minneapolis: University of Minnesota Press, 2010a.

STENGERS, I. **Cosmopolitics II**. Minneapolis: University of Minnesota Press, 2010b.

STRATHERN, M. Cutting Network. **The Journal of the Royal Anthropological Institute**, v. 2, n. 3, p. 517–535, 1996.

SUNDBERG, M. Parameterizations as Boundary Objects on the Climate Arena. **Social Studies of Science**, v. 37, p. 473–489, 2007a.

SUNDBERG, M. Mobilizing Networks: Researcher Roles in Atmospheric Science. **Acta Sociologica**, v. 50, n. 3, p. 271–282, 2007b.

SUNDBERG, M. The Everyday World of Simulation Modeling: The Development of Parameterizations in Meteorology. **Science, Technology & Human Values**, v. 34, n. 2, p. 162–181, 2009.

SUNDBERG, M. The dynamics of coordinated comparison: How simulationists in astrophysics, oceanography and meteorology create standards for results. **Social Studies of Science**, v. 41, n. 1, p. 107–125, 2011.

TADDEI, R. Blame: The Hidden (and Difficult) Side of the Climate Change Debate. **Anthropology News**, v. 49, n. 8, p. 45–46, 2008.

TADDEI, R. The politics of uncertainty and the fate of forecasters: climate, risk, and blame in northeast Brazil. In: JANKOVIC, V.; BARBOSA, C. (Eds.). **Weather, Local Knowledge and Everyday Life: Issues in Integrated Climate Studies**. Rio de Janeiro: MAST, 2009. p. 287–296.

TADDEI, R. The Politics of Uncertainty and the Fate of Forecasters. **Ethics, Policy and Environment**, v. 15, n. 2, p. 252–267, 2012.

TADDEI, R. Anthropologies of the Future: on the performativity of (climate) forecasts. In: KOPNINA, H.; SHOREMAN-OUIMET, E. (Eds.). . **Environmental Anthropology (Vol. 2): future directions**. London: Routledge, 2013.

TADDEI, R.; GAMBOGGI, A. L. (EDS.). **Depois que a chuva não veio: respostas sociais às secas no Nordeste, na Amazônia e no Sul do Brasil**. Fortaleza: FUNCEME / CIFAS, 2010. p. 264

THE ROYAL SOCIETY. A guide to facts and fictions about climate change. [s.l.]. 2005.

PÁGINAS VIRTUAIS PESQUISADAS:

Biblioteca Virtual da FAPESP:

<http://bv.fapesp.br/pt/metapesquisa/?q=mudan%C3%A7as+clim%C3%A1ticas&index=> (acesso em julho de 2013).

Canal UOL:

<http://noticias.uol.com.br/meio-ambiente/ultimas-noticias/redacao/2014/05/16/seca-atual-em-sao-paulo-e-a-maior-em-45-anos-mostram-dados-da-usp.htm> (acesso em maio de 2014).

Centro Nacional de Dados Climáticos dos Estados Unidos, vinculado à NOAA:

<http://www.ncdc.noaa.gov/paleo/globalwarming/gw-forcing.html> (acesso em julho de 2014).

<http://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/2013/13> acesso em janeiro de 2014.

Enciclopédia livre virtual Wikipedia sobre recordes de temperatura instrumental:
http://en.wikipedia.org/wiki/Instrumental_temperature_record (acessos em dezembro de 2013).

Estação Meteorológica do IAG/USP:

<http://www.estacao.iag.usp.br/seasons/index.php> (acesso em junho de 2014).

<http://www.estacao.iag.usp.br/Boletins/DJF20132014.pdf> (acesso em julho de 2014).

ESTEVEES, Bernardo, “Contadores de Carbono”, Revista Piauí, edição n. 57:

<http://revistapiaui.estadao.com.br/educacao-57/questoes-ambientais/contadores-de-carbono> (acesso em junho de 2013).

FAPESP:

<http://www.fapesp.br/mcg/> (acesso em junho de 2013).

<http://www.fapesp.br/7785> (acesso em junho de 2013).

<http://agencia.fapesp.br/6568> (acesso em junho de 2013).

Fórum Clima <http://www.forumclima.org.br/> (acesso em dezembro de 2013).

Instituto Goddard de Estudos Espaciais da NASA:

<http://data.giss.nasa.gov/gistemp/> (acesso em dezembro de 2013).

IPCC.

<http://www.ipcc.ch/pdf/ipcc-principles/ipcc-principles.pdf> (acesso em junho de 2013).

Ministério do Meio Ambiente.

<http://www.mma.gov.br/clima/politica-nacional-sobre-mudanca-do-clima> (acesso em outubro de 2014).

MIGUEL, Jean Horchsprung, “Ouvir a ciência, salvar a floresta, enfrentar as controvérsias, pensar a democracia”, Revista Comciencia:

<http://www.comciencia.br/comciencia/handler.php?section=8&educacao=92&id=1133> (acesso em maio de 2014).

Organização Meteorológica Mundial:

http://www.wmo.int/pages/themes/climate/international_wcc.php#a (acesso em dezembro de 2013).

Projeto Monitoramento da floresta amazônica brasileira por satélite (Prodes/Inpe):

<http://www.obt.inpe.br/prodes/index.php> (acesso em dezembro de 2013).

RANDALL, David, *An Introduction to Atmospheric Modelling* (2013), site online do manual didático do curso de ciências atmosféricas da Universidade do Estado do Colorado:

http://kiwi.atmos.colostate.edu/group/dave/at604pdf/Chapter_1.pdf (acesso em junho de 2014).

Rede Clima

<http://redeclima.ccst.inpe.br/> (acesso em outubro de 2013).

Canal de videos da Rede Clima
<https://www.youtube.com/watch?v=FEUYW5jo1Bc> (acesso em fevereiro de 2013).

Serviço Meteorológico Nacional dos Estados Unidos, vinculado à NOAA:

<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/> (acesso em maio de 2014).

<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/teledoc/teleintro.shtml> (acesso em maio de 2014).

Universidade de Oxford, evento *Climate Change and the Fate of the Amazon* (2007).

<http://www.eci.ox.ac.uk/news/events/070320presentations.php>