

Redes observação e a evolução tecnológica contribuindo para o desenvolvimento de modelos matemáticos na Meteorologia no século XX

BAMBINI, M.D¹ , FURTADO, A.T.²

Resumo

O objetivo deste trabalho é promover uma reflexão relacionada às características da evolução científica e institucional do campo científico da Meteorologia que possibilitaram, a partir de meados do século XX, a utilização de modelos matemáticos para fins de previsão do tempo.

A Meteorologia é uma ciência relativamente jovem, se comparada à Matemática ou à Física, e que tem ganhado destaque desde a última metade do século XX. Alguns historiadores apontam que, antes do advento dos computadores e da ameaça do aquecimento global, a Meteorologia não possuía um carisma e uma velocidade de progresso que pudesse atrair eventuais historiadores. No entanto, a própria significância das preocupações sociais com o clima e suas alterações que marcaram a segunda metade do século XX, acabaram por gerar interesse pelas análises históricas relacionadas à Meteorologia.

Estas análises apontam a especial relevância da evolução/ revolução tecnológica ocorrida no século XVII, com a invenção de vários instrumentos de medição como o barômetro e o termômetro que permitiram que a Meteorologia passasse a ser uma ciência de bases quantitativas.

No século XIX, a Meteorologia teve novo impulso com a invenção de instrumentos mais modernos para medição e do telégrafo aliada à sua ampla utilização por redes de observação meteorológica. Estas condições tornaram possível a geração de mapas sinópticos de previsão e a criação de sistemas de monitoramento e alarmes. Com isto, os serviços meteorológicos passaram a chamar a atenção dos Estados Nacionais.

A evolução tecnológica e as formas institucionais criadas para o fornecimento de serviços meteorológicos – notadamente marcadas pelas redes de observação apoiadas pelo telégrafo – fornecem elementos para entender a evolução das técnicas utilizadas para atividades de previsão do tempo nos séculos XIX e XX.

No século XX, a evolução tecnológica, calcada no desenvolvimento de tecnologias de informação e comunicação, permitiu o desenvolvimento de modelos matemáticos de previsão do tempo. O desenvolvimento do computador ENIAC, na década de 1950, possibilitou o cálculo da

1 Estudante do Mestrado em Política Científica e Tecnológica do Instituto de Geociências da Universidade Estadual de Campinas - Unicamp, Analista da Embrapa Informática Agropecuária, martha@cnptia.embrapa.br.

2 Doutor em Ciências Econômicas pela Université Paris I, Professor do Departamento de Política Científica e Tecnológica do Instituto de Geociências da Universidade Estadual de Campinas - Unicamp, furtado@ige.unicamp.br

primeira previsão numérica do tempo.

Este trabalho apresenta, sob uma forma revisional, o contexto tecnológico, organizacional e histórico que criou condições para a consolidação dos modelos de previsão numérica no campo da Meteorologia.

Palavras-chave: previsão numérica do tempo; institucionalização da Meteorologia; redes de observação meteorológica.

Introdução

O campo da Meteorologia caracteriza-se por estudos interdisciplinares da atmosfera envolvendo tanto condições atmosféricas - o que popularmente se costuma chamar de “tempo” - quanto a previsão de suas condições futuras. Os fenômenos meteorológicos são condições observáveis que podem ser explicadas por intermédio do estudo de diversas variáveis como temperatura, pressão, velocidade do vento, umidade, entre outras.

Além de se relacionarem ao planejamento da vida diária dos indivíduos, as previsões meteorológicas são do interesse especial de vários setores como o Militar, de Energia, de Transportes, a Agricultura e a Construção Civil.

As características institucionais do campo da meteorologia, envolvendo a formação de redes de observação e coleta de dados, relatadas já na Europa do século XVIII (FLEMING, 1998), permitiram a acumulação de grandes quantidades de dados resultantes de observações efetuadas em distintas áreas geográficas. Barboza (2002) destaca que as redes meteorológicas se tornaram um terreno fértil para transformações profundas na Meteorologia (p.31) tendo em vista possibilitarem o intercâmbio de grandes volumes de dados, a difusão e geração de conhecimento e o desenvolvimento de padrões e de procedimentos de trabalho coletivo.

O movimento de desenvolvimento científico e tecnológico ocorrido a partir do século XVII também contribuiu para o desenvolvimento da Meteorologia com a invenção e utilização de inúmeros equipamentos de medição (MIDDLETON, 1969) como o barômetro e o termômetro. No século XIX, a invenção e difusão do telégrafo, em 1850, tornou possível a transmissão de dados e de previsões entre os pontos das redes de observação que começavam a se formar em diversos Estados Europeus. Neste período, começam a ser calculadas e difundidas as previsões sinópticas do tempo.

A evolução tecnológica também contribuiu, em meados do século XX, para o desenvolvimento e comunicação dos modelos numéricos de previsão do tempo. Esta metodologia está baseada na difícil resolução de um sistema não linear, envolvendo equações em derivadas parciais que traduzem as leis gerais da física aplicadas à atmosfera. A construção do computador

ENIAC, em 1946, possibilitou o cálculo da primeira previsão numérica do tempo, executada em 1955. Já a partir dos anos 1970, com a ampla difusão das ferramentas de Tecnologia de Informação, as previsões numéricas do tempo passaram a ser efetuadas por grande parte dos serviços meteorológicos (LEZAUN, 2006).

Os estudos de modelagem numérica meteorológica vem permitindo um melhor entendimento do comportamento atmosférico e dos processos climáticos (BARRY e CHORLEY, 1998) e, no caso das previsões do tempo, maior acurácia do que as previsões sinópticas, anteriormente efetuadas. Inicialmente desenvolvidos para previsão do tempo, os modelos numéricos são utilizados hoje também para estudar anomalias climáticas bem como mudanças climáticas globais.

Pretende-se com este trabalho descrever a evolução histórica e o contexto que tornou possível a consolidação dos modelos de previsão numérica no campo da Meteorologia. O item a seguir oferece um panorama da história da meteorologia. A seguir, é apresentada uma periodização analítica da história desta ciência, com especial enfoque para os períodos empírico e moderna.

O item 3 discorre sobre a evolução organizacional e institucional desta ciência enfocando a formação das redes de observação meteorológica e as questões organizacionais e institucionais a elas relacionadas. Por fim, é apresentado o contexto tecnológico e organizacional envolvendo a Previsão Numérica do Tempo e as conclusões do trabalho.

1. A história da Meteorologia

A fim de compreender o contexto histórico das atividades relacionadas ao campo científico da Meteorologia, foi empreendida uma revisão bibliográfica que indicou que a historiografia relativa a esta ciência é relativamente pequena, desenvolvida primordialmente no século XX (ANDERSON, 2000; BARBOZA, 2002). Anderson (2000) justifica este fato afirmando que, antes do advento dos computadores e da ameaça do aquecimento global, a Meteorologia não possuía um carisma e uma velocidade de progresso que pudesse atrair eventuais historiadores. Os documentos históricos escritos por meteorologistas acabaram restritos a publicações especializadas.

Outro fator que pode ter contribuído para isto seria a alteração das fronteiras históricas desta disciplina. Até o século XIX, a Meteorologia envolvia todos os fenômenos dos ares incluindo alguns que hoje são estudados por campos como a Astronomia e a Geologia.

Vogel (2009) aponta um o crescimento do interesse pela Meteorologia nos Estados Unidos a partir dos anos 1980. Segundo o autor, apesar de ter sido um campo altamente negligenciado no que se refere aos estudos de História das Ciências, a historiografia da Meteorologia bem como o interesse geral em Meteorologia, Tempo e Clima se expandiu exponencialmente entre os anos de

1983 e 2009. Segundo o autor, esta expansão é influenciada também por fatores como o crescimento geral das publicações acadêmicas como um todo, pelo crescimento e evolução das mídias e pela própria fundação de instituições e publicações especializadas em História da Meteorologia³. Além disso, a própria significância das preocupações com o clima e suas alterações que marcaram a segunda metade do século XX também influenciaram o interesse pelas análises históricas da Meteorologia.

Vogel (2009) sugere uma convergência de dois campos científicos: a Meteorologia, que estuda as condições atmosféricas e sua previsão, e a Climatologia, que se preocupa com valores estatísticos médio para descrever o ritmo anual mais provável de ocorrência de fenômenos atmosféricos (PEREIRA ET AL, 2002). Em tempos passados houve uma sobreposição da história destas duas ciências que continuam a se relacionar de forma bastante próxima nos dias atuais.

2. Evolução da história da Meteorologia: período especulativo, empírico e moderno

Enquanto a Meteorologia e a Climatologia são relativamente jovens como campos científicos organizados, se comparados a ciências como a Astronomia ou a Matemática, o interesse do homem sobre as condições do tempo e as variações do clima remonta às origens da vida humana na Terra. Desde as sociedades primitivas, se percebeu que a observação das condições atmosféricas, como o aspecto dos céus e dos ventos, e o comportamento dos animais poderia oferecer um indicativo sobre as condições futuras do tempo.

Os primeiros estudos mais específicos relacionados à Meteorologia foram realizados por Aristóteles, na Grécia antiga. Estes estudos permaneceram como o paradigma dominante da Meteorologia até a Renascença. Avanços científicos significativos só ocorreram a partir dos séculos XVII e XVIII.

Vogel (2000) e Barboza (2002) fazem referência ao trabalho de H. Frisinger (1977)⁴, que, utilizando-se de um olhar científico, caracteriza três períodos históricos principais da Meteorologia ocidental: especulativo, empírico e moderno.

O primeiro período, chamado **especulativo**, ocorreu entre os anos 600 aC e 1600 dC, marcado pelo pensamento de Aristóteles, com sua obra “Meteorológica”, que seria a única referência teórica neste campo até o século XVI.

3 Uma organização especializada na História da Meteorologia é a International Commission on History of Meteorology. O website está disponível em: <http://www.meteohistory.org/>. Acesso em: 06.out.2010.

4 Howard H. Frisinger era matemático e iniciou suas pesquisas pelo estudo do papel dos matemáticos na Meteorologia. Sua obra “The History of Meteorology to 1800”, publicada em 1977, é uma referência clássica referente à história deste campo científico.

Segundo autores como Frisinger e Middleton (1969)⁵, o pensamento aristotélico envolvia mais especulações do que teorias e era caracterizado pela interpretação das observações meteorológicas a partir de idéias arbitrárias preconcebidas pelo autor, por intermédio de analogias. Desta forma, o emprego de um método científico deficiente explicaria as falhas incorridas na interpretação dos fenômenos meteorológicos observados.

2.1 O Período Empírico: desenvolvimento de instrumentos e observações

O período **empírico** se inicia com a invenção e aplicação de instrumentos meteorológicos, do século XVII e termina no início do século XX.

Em fins do século XVI, a evidência de incorreções da meteorologia aristotélica era crescente, incentivando o avanço do conhecimento relativo ao comportamento da atmosfera. Neste período, René Descartes dá um novo impulso teórico ao estudo da Meteorologia, com a publicação de um texto intitulado “Les Météores”, um apêndice de sua obra Discurso do Método (LEZAUN, 2006).

Historiadores como Middleton (1969) consideram que a Meteorologia veio a se constituir como ciência somente após a invenção de instrumentos como o barômetro e do termômetro, indicando que a história do campo científico da Meteorologia está intrinsecamente ligada à história dos instrumentos meteorológicos, tendo em vista que seu desenvolvimento permitiu que a Meteorologia, antes qualitativa, se tornasse uma ciência quantitativa (LEZAUN, 2006).

Middleton (1969), em sua obra, oferece um panorama sobre a história de vários instrumentos meteorológicos entre eles o barômetro, o termômetro, o higrômetro (instrumento para medição de umidade), o pluviômetro, o atmômetro (para medir evaporação), o anemômetro (para indicar a direção e medir a velocidade do vento) e os sensores de radiação solar.

No entanto a leitura de instrumentos meteorológicos necessitava ser efetuada em intervalos regulares, às vezes à noite, o que tendia a ser tornar uma das mais tediosas e restritivas ocupações humanas. Assim, logo depois da invenção dos primeiros instrumentos meteorológicos foram feitas tentativas visando gerar registros de maneira automática. Um dos primeiros equipamentos desta natureza foi desenvolvido por sir Christopher Wren, no século XVII, com o intuito de registrar

⁵ William E. Knowles Middleton (1902-1998) foi um pesquisador canadense especializado em instrumentos meteorológicos, óptica, meteorologia e ciência em geral. Meteorologista de formação, se especializou em instrumentos quando iniciou seus trabalhos no Serviço de Meteorologia em 1929 e começou pesquisas em óptica com o Conselho Nacional de Pesquisa do Canadá em 1946. Foi um membro honorário da American Meteorological Society. Seu perfil pode ser encontrado em: <http://www.science.ca/scientists/scientistprofile.php?PID=356> Acesso em: 10.abr.2010. Barboza (2002) faz referência à sua obra “History of the theories of rain and other forms of precipitation” publicada em 1965.

várias medições de vários instrumentos de uma vez só (MIDDLETON, 1969).

Instrumentos de medição automática são considerados extremamente importantes para estudos em Meteorologia a fim de atender aos requisitos de medição, perpétuos, implicando em observações diurnas e noturnas.

No século XVIII, é marcado pelo desenvolvimento de novos instrumentos e pelas melhorias nos equipamentos existentes. Além disso, foi efetuada a padronização da escala do termômetro, com a redução de 14 para 2 escalas: Celsius e Fahrenheit.

No século XIX, todos os instrumentos existentes foram refinados, tornando tecnicamente possível construir instrumentos suficientemente duráveis. Além disso, os meteorologistas perceberam que necessitavam não apenas de registros das condições atmosférica mas de observações simultâneas enviadas em intervalos regulares para um escritório central – ou seja, de observações sinópticas, como eram chamadas na época.

A possibilidade de obter estas observações se tornou possível assim que o telégrafo elétrico foi inventado por volta de 1850. O telemeteorógrafo foi um instrumento inventado em 1843, projetado para imprimir os registros de um barômetro e de dois termômetros em um rolo de papel situado na estação receptora (MIDDLETON, 1969).

A partir deste período foi possível aos meteorologistas criar mapas sinópticos do tempo, como uma fotografia das observações meteorológicas efetuadas em grandes áreas (EDWARDS, 2006). Desta forma, tornava-se possível observar a movimentação de tempestades e outros fenômenos atmosféricos bem como emitir alertas às populações afetadas.

Mesmo que o método sinóptico de previsão do tempo, de bases empíricas, não tivesse ainda atingido grande acurácia, ele aumentou a visibilidade da Meteorologia enquanto campo científico e passou a chamar a atenção dos Serviços Públicos Militares e Agrícolas de diversas nações. Em fins do século XIX, muitas nações que possuíam redes meteorológicas telegráficas haviam estabelecido serviços nacionais de Meteorologia, responsáveis pelo desenvolvimento de previsões do tempo (EDWARDS, 2006). Por um século, os serviços meteorológicos nacionais enfocaram na coleta de dados e construção de gráficos.

Questões relativas a calibração e padronização sempre estiveram em pauta, tendo em vista que, para a previsão sinóptica o dado necessitava ser coletado por instrumentos calibrados de acordo com um determinado padrão e registrado em unidades similares. Concordância em relação a padrões sempre foi um alvo difícil de alcançar.

No século XIX ocorrem novas invenções: os sensores de radiação e as observações aéreas por balão, utilizando-se de equipamentos pequenos, leves e mais baratos para registro automático de

medidas atmosféricas, sem que houvesse um impacto muito grande nos orçamentos das instituições.

2.2 A Meteorologia Moderna

O **período moderno** é marcado por uma aproximação da Meteorologia com as Ciências Exatas, por intermédio de teorias oriundas da Matemática, da Física e da Química.

No século XX, prosseguiu a evolução dos instrumentos de observação, com a introdução de balões de borracha e meteorógrafos mais leves que possibilitam aumentar o conhecimento humano sobre as condições meteorológicas em altitude mais elevada. Por volta de 1920, passou-se a utilizar a estrutura de rádio-comunicação para transmitir dados meteorológicos a partir de pipas. O rápido avanço no uso das ondas curtas de rádio levou às radio-sondas, tornando possível efetuar mapas sinópticos com base em observações aéreas. Estes desenvolvimentos se aceleraram com o advento da aviação comercial e mais ainda depois da Segunda Guerra Mundial, quando foi iniciada a aplicação prática de radares e lasers.

A Segunda Guerra Mundial deixou um legado que acabou por incentivar o desenvolvimento da Meteorologia: a disponibilidade de grandes quantidade de dados de superfície e aéreos; o aumento e capacitação dos meteorologistas atuando no Serviço Nacional de Meteorologia americano e a introdução do novo computador digital (HARPER ET AL, 2007).

O desenvolvimento de técnicas de previsão numérica do tempo caracteriza o **período moderno** da Meteorologia. Estas técnicas se baseiam em equações das dinâmicas atmosféricas, em um sistema não linear, de difícil resolução. A construção do computador ENIAC em 1946 possibilitou o cálculo da primeira previsão numérica do tempo que se revelou um importante exemplo de aplicação prática dos computadores e da utilização dos próprios dados meteorológicos coletados.

O desenvolvimento da previsão numérica, foi um empreendimento coletivo envolvendo uma colaboração financeira, administrativa e de recursos humanos, estabelecida entre o Serviço Meteorológico Americano, a Marinha Americana e a Força Aérea (HARPER, 2007). A Joint Numerical Weather Prediction Unit - JNWPU consistia na reunião de pesquisadores do “Meteorology Project” do Instituto de Estudos Avançados de Princeton, do projeto de Previsão Numérica do Laboratório de Pesquisa em Geofísica da Força Aérea em Cambridge e do Instituto Internacional de Meteorologia de Estocolmo/Suécia.

A primeira previsão do tempo operacional foi desenvolvida pelo time de Gustav Rossby, baseado em Estocolmo, na Suécia, em setembro de 1954. O JNWPU, por sua vez, publicou sua primeira previsão do tempo operacional em 6 de maio de 1955.

A cooperação entre agências – militar, civil e acadêmica - foi essencial para o avanço da previsão numérica do tempo, contribuindo para o avanço das Ciências Atmosféricas, no âmbito teórico e aplicado. A cooperação inter-disciplinar foi essencial, envolvendo o trabalho do matemático húngaro John Von Neumann⁶ e de meteorologistas teóricos como Philip Thompson do Laboratório da Força Aérea e da equipe internacional de Estocolmo (HARPER ET AL, 2007).

Os sucessos obtidos com os cálculos computacionais fizeram com que a previsão numérica pudesse ser considerada operacional, aceita por meteorologistas teóricos e aplicados. Apesar de existir muita descrença em relação a este novo método de previsão, o período da Guerra Fria acabou atuando como um estímulo, tendo em vista que os líderes militares se interessavam pela disseminação de mapas que pudessem apoiar decisões operacionais. O Serviço Meteorológico Americano previa a possibilidade da melhoria nas previsões com a redução de tarefas necessárias levando à redução nos custos.

Assim, os métodos de previsão numérica por computador evoluíam, apoiados por meteorologistas como Rossby, Charney e von Neumann, que defendiam os aspectos teóricos, e pelos meteorologistas militares e do serviço meteorológico nacional, que defendiam sua aplicação prática (HARPER ET AL, 2007).

Apesar das incertezas envolvendo ao início dos métodos numéricos, estes evoluem na década de 1960, de forma associada ao crescimento da capacidade de processamento dos computadores. Nos anos seguintes, os avanços em modelagem na complexidade envolvendo os modelos estiveram associados aos avanços da computação (HARPER ET AL, 2007).

No contexto geopolítico da Guerra Fria, questões como a geoestratégia e a mudança técnica se reforçavam mutuamente envolvendo tanto o desenvolvimento de armas de alta tecnologia (ênfatisando o poder militar das nações) quanto de computadores, radares e satélites (permitindo controle e vigilância centralizados e em tempo real). Desde o início dos desenvolvimentos dos satélites, por volta da década de 1950, se percebeu a próxima ligação entre os interesses militares de reconhecimento por satélite e as iniciativas de previsão do tempo, por intermédio também de imagens de satélite.

Algumas vezes as razões meteorológicas de ordem pública acabavam inclusive por encobrir interesses militares (EDWARDS, 2006). Teorias relativas ao “controle do tempo” envolvendo bombardeamento de nuvens e criação de furacões – estudadas inclusive por John Von Neumann – foram utilizadas para justificar os investimentos em uma unidade de pesquisa para previsão numérica do tempo. A idéia de utilizar o tempo como arma esteve nas agendas militares das

superpotências até a década de 1970.

Já a partir dos anos 1970, todos os serviços meteorológicos passam a realizar previsão do tempo na forma numérica, envolvendo a resolução de um sistema de equações em derivadas parciais que traduzem as leis gerais da física aplicadas a atmosfera (LEZAUN, 2006).

Para resolver as equações é necessário conhecer o estado da atmosfera em um instante inicial, obtido por intermédio de uma ampla rede de coleta de dados em toda a atmosfera. Existe uma grande variedade de tipos de observações que podem ser feitas: observações de superfície a partir de estações em terra; observações em bóias marinhas ou barcos; observações de altitude coletadas por sondas ou aviões; e observações à distância, por intermédio de satélites ou radares (EDWARDS, 2006).

Um componente importante da operacionalização dos modelos numéricos se refere ao tratamento de dados: transmissão ao centro de operações, processamento, análise e utilização nas previsões. Quando os sensores remotos passaram a ser utilizados, a quantidade de dados disponível superou a capacidade de processamento dos cientistas. E a assimilação de dados é um problema até os dias de hoje (HARPER ET AL, 2007).

3. A evolução organizacional e institucional da Meteorologia

Fleming (1990)⁷ citado por Barboza (2002), desenvolve uma cronologia histórica da Meteorologia concentrando, porém, seu olhar na questão institucional. Este autor defende que as controvérsias teóricas foram fundamentais para o estabelecimento de novas formas de organização dos praticantes da Meteorologia.

A obra de Fleming (1990) analisa a Meteorologia dos Estados Unidos e estabelece os seguintes estágios:

- era dos **observadores individuais** (da colonização até 1800);
- período dos **sistemas emergentes e da expansão de horizontes** (de 1800 a 1870);
- era do **serviço governamental** (entre 1870 e 1920);
- e **período contemporâneo**, disciplinar e profissional (iniciado na década de 1920).

Fleming (1998), reproduz em sua obra a frase de James Pollard Espy, meteorologista

7 James Rodger Fleming é professor de Ciência, Tecnologia e Sociedade no Colby College em Maine (EUA). Se tornou uma referência-chave em História da Meteorologia após sua obra “Meteorology in America, 1800-1870” publicada em 1990.

americano do século XIX⁸:

“Um astrônomo é, em alguma medida, independente de seu colega astrônomo; ele pode esperar em seu observatório até que a estrela que deseja observar venha até seu meridiano; o meteorologista no entanto faz observações limitadas a um horizonte restrito e pouco pode fazer sem a ajuda de numerosos observadores que possam fornecer-lhe observações atuais de uma ampla e estendida área”

Este depoimento enfatiza o caráter colaborativo da Meteorologia enquanto ciência. Ao contrário de outros cientistas que efetuam suas pesquisas de forma isolada, os meteorologistas interagem entre si a fim de aumentar suas bases de dados (que estão restritas a valores locais), com o objetivo de analisar e compreender as condições atmosféricas e efetuar previsões do tempo.

3.1 A formação de redes de observação meteorológica

Há relatos da formação de redes de observação na Europa a partir do século XVIII. Inicialmente as redes se formavam naturalmente, pela associação entre meteorologistas que, desejosos de ampliar o escopo de suas observações, distribuíaam entre si os dados meteorológicos que coletavam. Esta característica marca a fase de expansão de horizontes.

Pode-se dizer que desde o início da institucionalização das ciências da Meteorologia e Climatologia, tornou-se natural o movimento de associação dos profissionais destes campos visando ao intercâmbio de dados e à construção de arquivos e bases de dados.

O desenvolvimento de procedimentos para coleta sistemática de dados climáticos levou várias centenas de anos. Durante o século XVII, as sociedades científicas da Europa promoveram a coleta de dados meteorológicos para extensas áreas. Há relatos de observações sistemáticas na Alemanha, Rússia e Estados Unidos no século XVIII.

Fleming (1998) descreve o projeto Societas Metereologia Palatina fundado na Alemanha em 1781 com o objetivo de compreender a influência do tempo na agricultura e na saúde. Além dos dados meteorológicos, eram coletados dados de colheita, mortalidade, fertilidade e doenças em cinquenta e sete locais, da Sibéria à América do Norte e Europa. Os observadores recebiam instrumentos e instruções gratuitas e enviavam os resultados para Manheim, Alemanha onde eram publicados na integra no periódico da referida sociedade.

No século XIX estas iniciativas colaborativas para coletar grandes quantidades de dados meteorológicos se multiplicaram, associadas a um esforço de institucionalização tendo em vista que

⁸ *Second Report on Meteorology to the Secretary of the Navy* (1849), US Senate Executive Document 39, 31st Congress, 1st session.

as observações passaram a ser de interesse dos Estados que visavam melhorar práticas agrícolas, responder a questões relativas à saúde, gerar alertas públicos sobre tempestades e atender a necessidades militares (FLEMING, 1998).

Barboza (2002) descreve o caráter institucional do movimento de criação de redes de observação meteorológica, ocorrido no início da década de 1850, envolvendo iniciativas de vários Estados em estimular e patrocinar o desenvolvimento destes arranjos científicos. Estas redes eram formadas em geral por um pequeno número de funcionários e por uma grande maioria de voluntários, orientados e equipados por um órgão central (algumas vezes denominado de observatório meteorológico) que recolhia, processava e divulgava os resultados obtidos.

Segundo a autora, estas instituições – as redes meteorológicas – logo se consolidariam como um terreno fértil para transformações profundas na Meteorologia (p.31) especialmente no que se refere ao intercâmbio de grandes volumes de dados, à difusão e geração de conhecimento, desenvolvimento de padrões e de procedimentos de trabalho coletivos, estruturando os serviços governamentais de Meteorologia.

Fleming (1998) descreve a rede de observações formada em 1848 no reino da Prússia possuindo 35 estações sob a coordenação do Instituto Meteorológico de Berlim. Em 1849, um projeto semelhante seria criado em território russo envolvendo 8 estações principais e 48 observadores voluntários. Em 1851, a Inglaterra cria um projeto mais abrangente distribuindo observações meteorológicas ao redor do mundo, por suas colônias, com apoio do Estado por intermédio do Meteorological Office.

Barboza (2002) descreve a rede meteorológica telegráfica vinculada ao Observatório de Paris implantada no território francês em 1856 e internacionalizada em 1857, incluindo observações de várias capitais da Europa (em 1865 eram cerca de 42 estações). Esta rede tinha algumas particularidades; em primeiro lugar, excluía a participação dos voluntários aproveitando-se do trabalho de funcionários públicos atuando nas estações da Administração de Telégrafos, espalhados pelo território francês. Em segundo lugar, a organização francesa era mais rigorosa do que as similares européias em relação à padronização das observações efetuadas, tanto no que diz respeito aos instrumentos utilizados quanto em relação aos horários das medições que deviam ser simultâneas. O objetivo declarado desta iniciativa era oferecer uma previsão do tempo - até então algo inédito.

Em função destas inovações (acoplamento à rede de telégrafos, padronização de medidas e procedimentos) esta rede se expandiu de maneira bastante ágil, ultrapassando as fronteiras da França e atingindo as principais cidades da Europa Ocidental.

Dois fatores foram fundamentais para a criação da rede do Observatório de Paris: o apoio do Estado Francês e a aprovação da Academia de Ciências de Paris em relação à base científica do projeto. Esta base científica foi oferecida por intermédio de um estudo efetuado por Emmanuel Liais ao descrever o deslocamento de uma tempestade que assolou o Mar Negro por todo o território europeu, correlacionando a trajetória desenvolvida com as variações de pressão observadas nos respectivos locais. Ou seja, o estudo defendia a idéia de que a criação de uma rede de observação poderia viabilizar a previsão de tempestades com relativa antecedência, rastreando trajetórias e ondas de pressão a ela associadas. Este estudo acabou por justificar o investimento efetuado pelo Governo francês na aquisição de equipamentos, no desenvolvimento e estabelecimento da rede de observações.

3.2 Redes de observação, questões organizacionais e institucionais

É importante ressaltar que o crescimento e fortalecimento das redes de observação do século XIX foi possibilitado pelo progresso tecnológico envolvendo a invenção de instrumentos de medição mais precisos e com registro automático bem como pela possibilidade de transmissão rápida e precisa dos dados coletados para grandes distâncias, especialmente a partir da invenção do telégrafo. Esta invenção, principalmente, incentivou a criação de várias sociedades meteorológicas com muitas unidades de observação, cobrindo grandes áreas, possibilitando o desenvolvimento do método sinótico de previsão do tempo.

Além destas inovações tecnológicas, a formação de redes de observação envolveu várias questões organizacionais e institucionais. O apoio governamental supriu a necessidade de recursos e equipamentos. No entanto, as redes tiveram que lidar com questões operacionais, relacionadas a procedimentos de medição como periodicidade das medidas e padronização de escalas de equipamentos utilizados. Outra questão importante envolveu a própria controvérsia relativa ao compartilhamento dos dados entre diferentes nações.

Ao discorrer sobre sistemas mundiais de observação meteorológica, Edwards (2004) indica que os padrões são socialmente construídos por intermédio de negociações envolvendo aspectos de natureza técnica, social e política bem como dimensões institucionais, financeiras, simbólicas e, é claro, práticas. No caso das redes de observação meteorológica, a padronização de processos e equipamentos implica em um esforço visando uniformidade e precisão das medidas efetuadas bem como a compatibilidade entre elas. Segundo Edwards (2004), os padrões criam condições para a construção de todo um sistema tecnológico, tornando possível o amplo compartilhamento de

conhecimento.

No entanto, poucos padrões atuam desta forma tão perfeita. Na maioria dos casos, além da adaptação de instrumentos e estabelecimento de práticas únicas, torna-se necessária a disciplina por parte dos indivíduos envolvidos, que em muitos casos são resistentes ao novo, seja em relação aos equipamentos ou aos procedimentos.

Nem a fundação da Organização Meteorológica Internacional - IMO, em 1879, encerrou as questões relativas à construção de padrões. A negociação de padrões continuou ainda por cerca de 80 anos. A fim de evitar conflitos e manter a participação das nações, a IMO estabeleceu que suas recomendações não necessitavam ser obrigatoriamente seguidas pelos serviços nacionais de meteorologia – eram facultativas.

Edwards (2004) descreve as dificuldades para estruturar a rede global meteorológica da IMO que possuía 500 estações em terra. Dificuldades como a recepção de dados pelo correio (algumas vezes demorando meses) e falta de padronização em relação às técnicas de observação e registro (envolvendo negociações com os participantes da rede que não seguiam o protocolo) acabaram atrasando a publicação dos dados coletados por cerca de 13 anos.

Após a Segunda Guerra Mundial, buscou-se contruir uma nova instituição internacional para a Meteorologia e a IMO, relativamente frágil, transformou-se na Organização Mundial de Meteorologia – WMO com status intergovernamental no âmbito das Nações Unidas e uma participação genuinamente global.

O caráter intergovernamental da WMO trouxe um novo tipo de política a este campo científico. Em meio à Guerra Fria, os governos nacionais consideravam que o internacionalismo científico ameaçava sua soberania. No âmbito da padronização, a WMO buscava a participação da maior quantidade de países e colocava-se na posição de facilitadora e promotora de ações. Assim, apesar de incentivar os membros a implementar os padrões estabelecidos pela WMO, o obediência às recomendações era facultativo.

Houve uma adoção mais uniforme de padrões nos anos 1960, quando instrumentos automatizados por intermédio de padrões de medida e de registro, passaram a enviar dados para computadores que convertiam as unidades e efetuavam a interpolação de forma automática. Atualmente a utilização de sistemas de assimilação de dados em quatro dimensões que incorporam dados continuamente, torna desnecessário o estabelecimento de padrões relativos aos horários de observação.

Estas questões, descritas por Edwards (2004), evidenciam as dimensões organizacionais, sociais e políticas destes sistemas tecnológicos como as redes de observações meteorológicas.

4. Contexto tecnológico e organizacional envolvendo a Previsão Numérica do Tempo

Na década de 1950, a associação de competências internacionais, recursos financeiros e o apoio de várias instituições, tornou possível a geração de previsões numéricas do tempo. A fim de tornar este empreendimento possível foi necessário ainda reunir três elementos: dados meteorológicos, equações de previsão e capacidade de processamento. A partir de 1955, o Serviço Meteorológico Americano passou a oferecer previsões numéricas do tempo.

Mesmo que na década de 1950, os mapas de previsão propostos ainda necessitassem de melhorias, visando incluir mais elementos do tempo, as previsões do tempo em tempo real são hoje vistas como a maior realização intelectual e avanço científico das ciências atmosféricas no século XX (HARPER ET AL, 2007).

A previsão numérica do tempo envolveu a combinação de forças de especialistas em previsões, teóricos, e especialistas em modelagem, de várias nacionalidades, com apoio financeiro de várias instituições. Várias facetas da comunidade meteorológica estavam envolvidas – acadêmicos e representantes do governo; teóricos e cientistas aplicados; pesquisadores e técnicos, militares e civis (HARPER ET AL, 2007).

O avanço tecnológico na área de Tecnologia da Informação, permitindo a construção de computadores com grande capacidade de processamento, alta velocidade de comunicação, possibilitou o avanço dos estudos em previsão numérica do tempo. Aliados à evolução tecnológica estão as cooperações internacionais, os cursos de pós-graduação em meteorologia e a persistência e determinação de muitos pesquisadores em aplicar conhecimento de forma a beneficiar a sociedade e a ciência.

5. Conclusões

Este trabalho, de caráter revisional, permitiu analisar o processo de cientificação da Meteorologia, que partiu de um paradigma especulativo, espelhado no trabalho de Aristóteles. Este processo foi marcado pela invenção, difusão e melhoramento de equipamentos de medição, que possibilitaram a coleta e registro das condições atmosféricas.

A evolução organizacional e institucional da ciência meteorológica é marcada pelo surgimento e proliferação de redes de observação. Inicialmente as redes envolviam observadores profissionais ou voluntários utilizando-se de equipamentos de medição operados, associados à rede de telégrafos, transmitindo os valores coletados para uma central. Esta estrutura está associada a

importantes questões de gerenciamento, envolvendo procedimentos e padrões.

A Segunda Guerra deixou um legado que impulsionou o desenvolvimento da Meteorologia levando ao desenvolvimento das previsões numéricas do tempo, por intermédio de uma ação cooperativa entre agências e cientistas de várias áreas e países. Os modelos de previsão do tempo, que na década de 1950 possuíam baixa precisão, evoluíram até os dias de hoje em associação à capacidade de processamento dos computadores e à sofisticação dos algoritmos matemáticos, ganhando elevada acurácia.

6. Referências Bibliográficas

ANDERSON, K. Meteorology. IN: HESSENBRUCH, A . *Reader's Guide to the History of Science*. USA: Fitzroy Dearborn Publisher, 2000. p.476-477.

BARBOZA, C. H. da M. *Tempo Bom, Meteoros no fim do Período - Uma história da Meteorologia em meados do século XIX através das obras de Emmanuel Liais*, 2002. 296 p. Tese. (Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas - Departamento de História). Universidade de São Paulo. São Paulo.

BARRY, R. G. CHORLEY, R.J. *Atmosphere, weather and climate*. USA: Routledge, 1998. 409 p.

EDWARDS, P. N. "A Vast Machine": Standards as Social Technology. *SCIENCE* Vol 304 7 May 2004. pp. 827-828.

EDWARDS, P. N. Meteorology as Infrastructural Globalism. *OSIRIS*, 21, 2006. pp. 229-250.

FLEMING, J. R. *Historical Perspectives on Climate Change*. New York: Oxford University Press. 1998. 194p.

HARPER, K., UCCELLINI, L.W. KALNAY, E. CAREY, K. MORONE, L. 50Th Anniversary of Operational Numerical Weather Prediction. Forum. American Meteorological Society. Maio 2007. p .639-650.

LEZAUN, M. Que tiempo va hacer? UNION – Revista Iberoamericana de Educación Matemática. N. 5 março 2006. p. 37-47.

MIDDLETON, W. E. K. *Invention of the Meteorological Instruments*. Baltimore: The John Hopkins Press, 1969. 362 p.

PEREIRA, A . R. ANGELOCCI, L. R. SENTELHAS, P. C. *Agrometeorologia : fundamentos e aplicações práticas* . Guaíba : Agropecuaria, 2002 478p.

VOGEL, B. Meteorological Instruments. IN: HESSENBRUCH, A . *Reader's Guide to the History of Science*. USA: Fitzroy Dearborn Publisher, 2000. p. 475-476.

VOGEL,B. Bibliography of Recent Literature in the History of Meteorology - Twenty Six Years, 1983-2008, *History of Meteorology* 5 (2009). pp. 23-135.