

PROJETO ÁRIDAS

Uma Estratégia de Desenvolvimento Sustentável para o Nordeste



GT I - RECURSOS NATURAIS E MEIO AMBIENTE

I . 1 - CLIMA E MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO NORDESTE

Paulo Nobre

Versão Preliminar
Setembro / 94

Coordenação Geral:

COORDENAÇÃO DA PRESIDÊNCIA
DA REPÚBLICA

711.2: 63:504 (213.504)
NOBRE P - ARIDA
V.1 N.1



Ministério da
Integração Nacional



PROJETO ÁRIDAS



Uma Estratégia de Desenvolvimento Sustentável para o Nordeste



GT I - RECURSOS NATURAIS E MEIO AMBIENTE
1 - CLIMA E MUDANÇAS CLIMÁTICAS
NO NORDESTE

Paulo Nobre
Versão Preliminar
Setembro / 94

Versão Preliminar, sujeita à revisão.
Circulação Restrita aos participantes
do Projeto ARIDAS



PROJETO ÁRIDAS



Um esforço colaborativo dos Governos Federal, Estaduais e de Entidades Não-Governamentais, comprometidos com os objetivos do desenvolvimento sustentável no Nordeste.

O ARIDAS conta com o apoio financeiro de Entidades Federais e dos Estados do Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Sergipe e Bahia, particularmente através de recursos do segmento de Estudos do Programa de Apoio ao Governo Federal.

A execução do ARIDAS se dá no contexto da cooperação técnica e institucional entre o Instituto Interamericano de Cooperação para Agricultura-IICA e os Estados, no âmbito do PAPP.

ORGANIZAÇÃO

Coordenação Geral: **Antônio Rocha Magalhães**
Coordenador Técnico: **Ricardo R. Lima**

GTI - RECURSOS NATURAIS E MEIO AMBIENTE

Coordenador: **Vicente P. P. B. Vieira**

GT - II - RECURSOS HÍDRICOS

Coordenador: **Vicente P. P. B. Vieira**

GT III - DESENVOLVIMENTO HUMANO E SOCIAL

Coordenador: **Amenair Moreira Silva**

GT IV - ORGANIZAÇÃO DO ESPAÇO REGIONAL E AGRICULTURA DE SEQUEIRO

Coordenador: **Charles Curt Meller**

GT V - ECONOMIA, CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Coordenador: **Antônio Nilson Craveiro Holanda**

GT VI - POLÍTICAS DE DESENVOLVIMENTO E MODELO DE GESTÃO

Coordenador: **Sérgio Cavalcante Buarque**

GT VII - INTEGRAÇÃO COM A SOCIEDADE

Coordenador: **Eduardo Bezerra Neto**

Cooperação Técnica-Institucional IICA: **Carlos L. Miranda** (Coordenador)

COORDENAÇÃO GERAL:

Secretaria de Planejamento, Orçamento e Coordenação
da Presidência da República
Seplan-PR - Esplanada dos Ministérios - Bloco K - sala 849
Telefones: (061) 215-4132 e 215-4112
Fax: (061) 225-4032



PROJETO ÁRIDAS



COLEGIADO DIRETOR

Presidente: Secretário-Executivo da Seplan-PR

Secretário: Coordenador Geral do ARIDAS

Membros:

Secretários-Executivos dos Ministérios do Meio ambiente e Amazônia Legal, da Educação e Desportos e da Saúde;

Secretário de planejamento e Avaliação da Seplan-PR;

Secretário de Planejamento do Ministério da Ciência e Tecnologia;

Secretário de Irrigação do Ministério da Integração Regional;

Superintendente da Sudene;

Presidente do Banco do Nordeste do Brasil;

Presidente da Embrapa;

Presidente do IBGE;

presidente do Ibama;

Presidente da Codefasv;

Diretor Geral dos Dnocs;

Presidente do Ipea;

Representante da Fundação Esquel Brasil (Organização Não Governamental)

CONSELHO REGIONAL

Membros:

Secretários de Planejamento dos Estados participantes do ARIDAS;

Suplentes: Coordenadores das Unidades Técnicas do PAPP;

Coordenador geral do Aridas;

Representante da Seplan-PR;

Representante da Sudene;

Representante do BNB;

Representante do Ipea;

Representante da Embrapa;

Representante do Codevasf;

Representante da Secretaria de Irrigação do Ministério da Integração Regional;

COMITÊ TÉCNICO

Presidente: Coordenador Geral do aridas;

Membros:

Coordenadores de GT Regionais;

Coordenadores Estaduais;

Representante da Seplan-PR;

Representante da Sudene;

Representante da Embrapa;

Representante do IBGE;

Representante do Codevasf;

Representante da Secretaria de Irrigação/MIR;

Representante do DNAEE;

Representante do Dnocs;

Representante do IICA



PROJETO ÁRIDAS



O CLIMA DO NORDESTE: RESUMO EXECUTIVO

No presente trabalho são abordados os aspectos climáticos relativos à Região Nordeste do Brasil. São apresentados mecanismos causadores da variabilidade do clima e os métodos utilizados para o monitoramento e previsão de anomalias pluviométricas sobre o Nordeste. É abordado o potencial do uso das informações de monitoramento e previsão ambientais para auxiliar nos processos de tomada de decisão visando minorar os efeitos adversos associados com as secas. Também são discutidos aspectos relativos à mudança climática global induzida pelo acúmulo de gases de efeito estufa na atmosfera e seus possíveis efeitos regionais sobre o clima do Nordeste. Contudo, dado inexistirem até o momento estudos de mudança climática voltados especificamente para a Região Nordeste do Brasil, os cenários de mudança climática regional elaborados nesse estudo devem ser tomados com cautela. Ao final são apresentadas recomendações para a implantação de um sistema de monitoramento e geração de previsões meteorológicas regionais que possam contribuir para minimizar as perdas associadas à variabilidade interanual do clima sobre a região.

Caracterização Climática Atual

Localizada no cinturão tropical, onde os climas são geralmente quentes e úmidos, a Região Nordeste do Brasil (NEB) apresenta características de semi-aridez em sua porção central-norte. Climatologicamente o NEB é coberto por três regimes principais de chuvas:

- A parte sul (compreendendo o oeste, centro-sul e leste da Bahia e o sul do Maranhão e Piauí) cuja estação chuvosa ocorre de novembro a fevereiro, e está associada principalmente à penetração de frentes frias provenientes de latitudes altas do hemisfério sul [Kousky, 1979].
- A parte norte (compreendendo o norte e leste do Piauí, quase todo o Ceará e Rio Grande do Norte, sertões da Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, e região norte-nordeste da Bahia), cujo regime de chuvas está associado principalmente à zona de convergência intertropical (ZCIT) sobre o Atlântico equatorial. A estação chuvosa sobre essa região se concentra nos meses de fevereiro a maio [Hastenrath, 1977, Heller].
- A parte leste (compreendendo a zona da mata e agreste do Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e litoral norte da Bahia), cujo período chuvoso se estende de maio a julho está relacionado com a interação entre os alísios de sudeste e o sistema de brisa continental ao longo do litoral leste.



Existem grandes variações das distribuições pluviométricas de estado a estado no NEB, assim como dentro de cada estado. A análise das distribuições pluviométricas para cada Estado no NEB (Figura 1) mostra que o Rio Grande do Norte apresenta a maior frequência de secas extremas, enquanto o Piauí apresenta a menor ocorrência de secas extremas. Também, a distribuição de precipitações é relativamente plana sobre o Rio Grande do Norte, embora os anos normais a ligeiramente secos ocorram mais frequentemente do que cada uma das demais categorias separadamente. Assim, a variabilidade interanual de precipitações sobre o Rio Grande do Norte é máxima relativa aos demais estados. Por outro lado, o Ceará, Paraíba e Pernambuco experimentam maior número de anos ligeiramente secos ou ligeiramente chuvosos do que anos considerados "normais". Alagoas (embora representado por uma única estação no semi-árido) não apresentou anos com seca extrema; a ocorrência mais freqüente foi de anos normais, seguido por anos secos a ligeiramente secos e anos chuvosos a ligeiramente chuvosos. A Bahia, por sua vez, mostra uma distribuição de chuvas com um máximo de frequência em anos normais. Para efeito de comparações, os histograma para o NEB (que reúne as áreas representadas pelos sete estados graficados) também é mostrado na Figura 1.

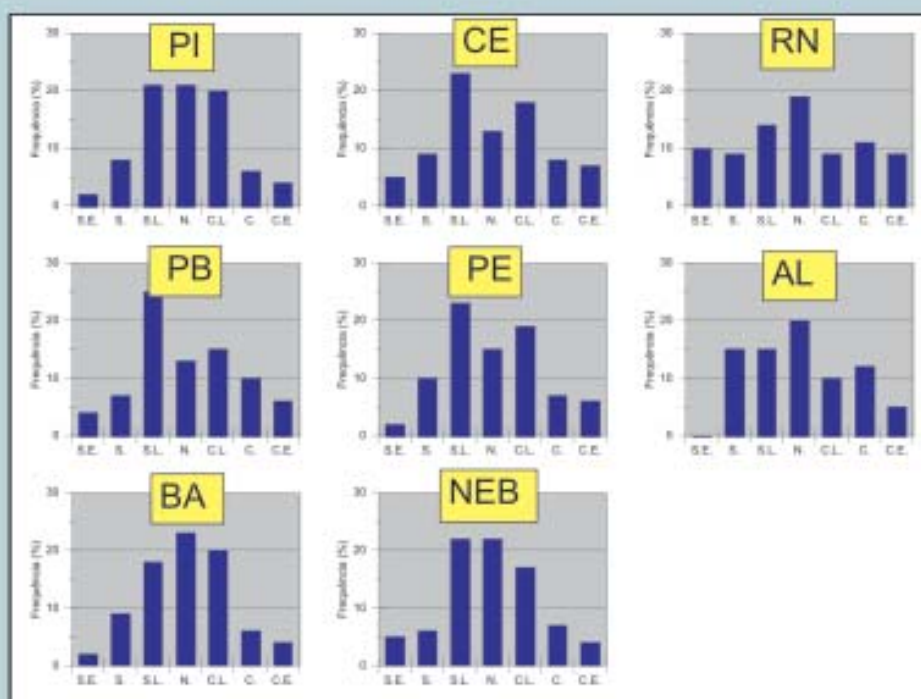


Figura 1 - Histogramas das distribuições de frequências da pluviometria anual sobre as porções semi-áridas dos estados indicados na figura e para o conjunto dessas áreas, representando o norte do Nordeste (NEB) para o período 1910 a 1992. S.E. = seca extrema; S. = seca; S.L. = seca leve; N. = normal; C.L. = levemente chuvoso; C. = chuvoso; C.E. = extremamente chuvoso.

Cenário de Mudança Climática:

A mudança na frequência de secas sobre uma determinada localidade é afetada por mudanças do estado médio do clima, tais como temperatura e precipitação, assim como a variabilidade climática em várias escalas de tempo [Mearns, 1992]. É difícil medir a severidade de uma seca, uma vez que esta é o resultado da combinação de fatores tais como duração, intensidade e extensão territorial. Além disso, há vários tipos de secas: a seca meteorológica, a seca agrícola e a seca hidrológica. O desenvolvimento e causas de condições de secas regionais têm sido estudadas através de experimentos de modelagem numérica de escala global. Esses experimentos consistem basicamente do teste de hipóteses para determinar se, e como, uma forçante externa do sistema climático afeta a disponibilidade de água no solo. Uma das conclusões mais importantes a que chegaram Rind et al. [, 1991 #174], em seus experimentos da probabilidade do desenvolvimento de secas usando o MCGA do Goddard Institute for Space Studies (GISS) é que o fator mais preponderante para a ocorrência de secas num cenário de efeito estufa (concentração de CO₂ dobrada) era o aumento da evapotranspiração, a qual é uma função da temperatura à superfície. Em seu estudo, as mudanças na precipitação mostraram ser secundárias em importância na determinação de condições de secas. Ainda segundo seus resultados, secas sobre os Estados Unidos que atualmente ocorrem 5% do tempo durante o verão do Hemisfério Norte, passariam a ocorrer cerca de 40% do tempo por volta do ano 2050 sob as condições de mudança climática global induzida pelo aquecimento atribuído ao acúmulo dos gases de efeito estufa.

Dentre os elementos atmosféricos e ambientais que modificam a umidade do solo estão a temperatura do ar à superfície, precipitação pluviométrica e cobertura vegetal. Existem ainda outros agentes que modificam os indicadores acima de formas variadas, como o efeito do albedo (associado ao desnudamento do solo) nos processos de desertificação, as temperaturas da superfície do mar na distribuição e intensidade das chuvas e o do crescimento populacional na cobertura vegetal. A fim de se montar um cenário das condições climáticas sobre o semi-árido do Nordeste sob a hipótese de aquecimento global da troposfera, supondo que com o aquecimento médio global da troposfera, da ordem de 0.3* C a cada dez anos:

- i. Haverá um aquecimento médio da troposfera tropical;
- ii. A temperatura média do ar à superfície sobre os continentes se elevará mais do que sobre os oceanos;
- iii. Os maiores aumentos de precipitação pluviométrica se concentrarão sobre as latitudes altas e médias;
- iv. As precipitações sobre os trópicos, provenientes de convecção atmosférica profunda, se tornarão mais intensas e episódicas;



É plausível supor que o efeito combinado de elevadas temperaturas do ar e o regime pluviométrico caracterizado por chuvas descontínuas no tempo e espaço, seja o de diminuir a umidade do solo, e com isto tornar a região mais suscetível à ocorrência de secas. Contudo, embora as mudanças na evapotranspiração, as quais são determinadas principalmente por mudanças da temperatura do ar à superfície, possam ser as mais importantes para mudança geral da frequência de secas, as mudanças da precipitação, em particular de sua variabilidade interanual, são certamente muito importantes para o refinamento do conhecimento sobre frequência e severidade da ocorrência de secas. Os indicadores de mudança climática escolhidos para cenariar as condições climáticas sobre o Nordeste do Brasil nos anos 2000, 2010 e 2020 devido ao aquecimento global atribuído ao acúmulo de gases de efeito estufa na atmosfera da Terra são:

- i. a temperatura do ar à superfície,
- ii. a precipitação pluviométrica e
- iii. a umidade do solo.

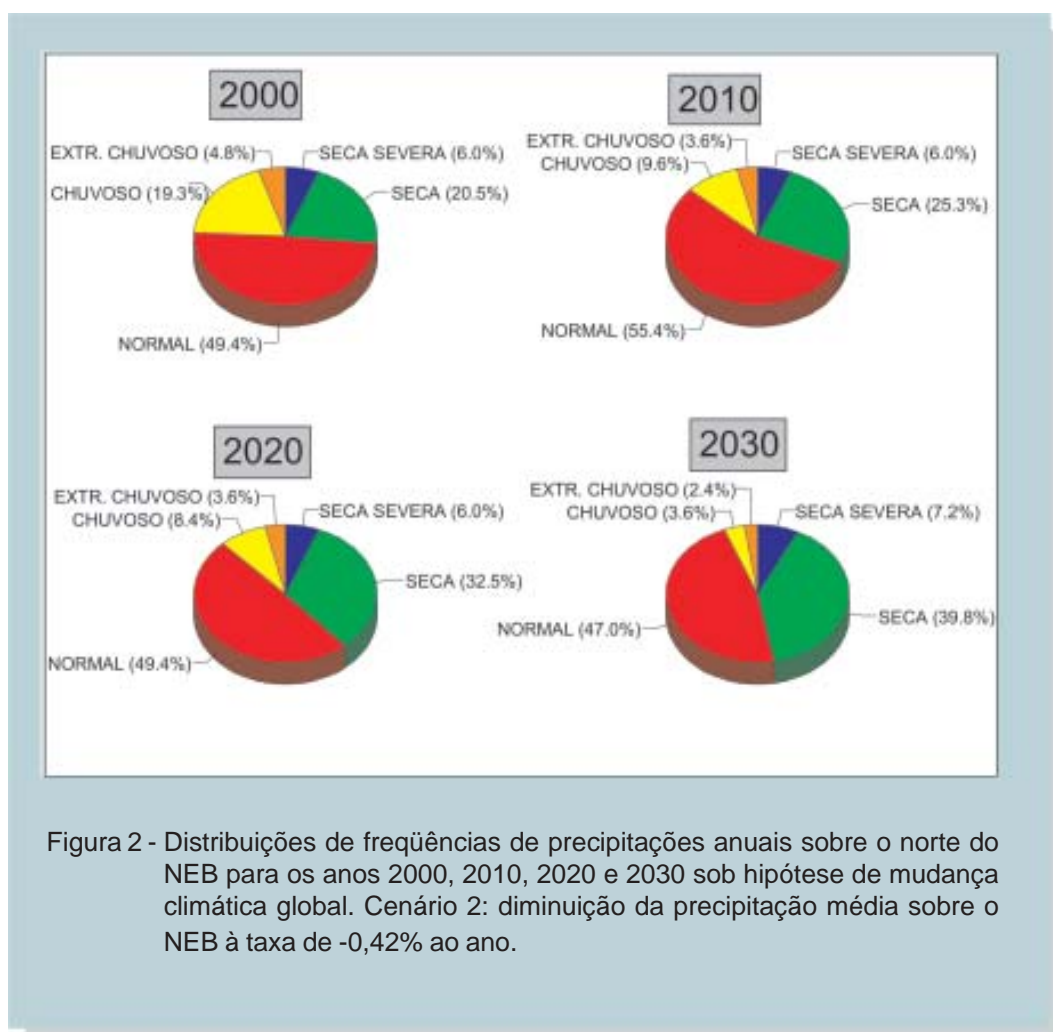


Figura 2 - Distribuições de frequências de precipitações anuais sobre o norte do NEB para os anos 2000, 2010, 2020 e 2030 sob hipótese de mudança climática global. Cenário 2: diminuição da precipitação média sobre o NEB à taxa de -0,42% ao ano.

O método de projeção empregado consistiu em gerar séries sintéticas de precipitação pluviométrica tomando como base as séries históricas de pluviometria de um conjunto de postos pluviométricos sobre o Nordeste. Subtraiu-se da precipitação anual observada sobre cada estação e cada ano um percentual de mudança. Foram calculadas as freqüências de distribuição de chuva das séries sintéticas tendo em conta as médias pluviométricas atuais (i.e., não reduzidas) para cinco classes: extremamente seca (menor ou igual a 50% do total climatológico), seca (de 51% a 80%), normal (de 81% a 120%), chuvosa (de 121% a 150%), extremamente chuvosa (mais de 150% do total climatológico).

A Figura 2 mostra as distribuições de freqüências pluviométricas anuais sobre o Norte do NEB para os anos 2000, 2010, 2020 e 2030, sob a hipótese de diminuição dos totais pluviométricos anuais a uma taxa de aproximadamente 0,4% por ano. Note-se, porém, que os percentuais de seca e anos chuvosos apresentados nesta figura se referem somente ao efeito de mudança da precipitação; não incluem outros fenômenos que afetam a disponibilidade de umidade do solo, tais como o aumento da temperatura do ar, aumento do escoamento superficial associado à diminuição da cobertura vegetal natural, entre outras.

A mudança mais notável nas distribuições de freqüências de precipitação mostradas na Figura 2 é o aumento da freqüência de secas, que praticamente dobra entre os anos 2000 e 2030, passando de aproximadamente 20% para 40%. Este aumento ocorre às custas da diminuição de anos chuvosos e muito chuvosos. É interessante notar, também, que a freqüência de anos com secas extremas permanece praticamente inalterado, assim como o número de anos considerados normais.

Dessa forma, uma diminuição da precipitação pluviométrica média de aproximadamente -0,4% ao ano sobre o NEB, mantidos outros parâmetros como observados atualmente (tais como a variância das precipitações pluviométricas, a temperatura do ar, umidade do solo) levaria a aumentar a freqüência de anos nos quais ocorreriam secas meteorológicas, relativamente ao registro histórico de secas sobre a região.

Em estudo recente da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos - FUNCEME, calculou-se a variação percentual da evapotranspiração potencial para o Estado do Ceará, tomando como base uma elevação da temperatura média sobre o estado de 1 C e de 2 C. Conclui-se que mantidos outros fatores constantes, a evapotranspiração potencial sobre o Ceará aumentaria em torno de 14% para cada grau centígrado de aumento da temperatura do ar à superfície. Dessa forma, o efeito isolado do aumento da temperatura do ar é o de aumentar a incidência de secas sobre o NEB. Para que a troposfera mais aquecida não afetasse a freqüência de secas sobre o NEB, haveria a necessidade que ocorresse um au-





mento dos totais pluviométricos sobre a região, da mesma ordem de grandeza do aumento da evapotranspiração potencial, induzido pelo aumento da temperatura do ar.

Sumário

Até a presente data, ainda não existem estudos de simulação numérica sobre mudança climática regional para a Região Nordeste do Brasil. Também, os resultados de simulações numéricas utilizando modelos de circulação geral da atmosfera para prognosticar as conseqüências do aumento de gases de efeito estufa na atmosfera para o clima da Terra ainda não permitem prognosticar de forma precisa os efeitos regionais da mudança climática. Contudo, é possível especular que os efeitos combinados do possível:

- i. aumento da temperatura do ar à superfície,
- ii. aumento da intensidade do fenômeno ENOS sobre o Pacífico,
- iii. aumento da variabilidade interanual de precipitação pluviométrica sobre os trópicos,

sejam os de:

- i. aumentar a área sujeita a secas freqüentes sobre o NEB, tornando mais estreitas as zonas de transição entre o semi-árido e o regime de chuvas amazônico a oeste do Piauí e o da zona da mata sobre a costa leste do Nordeste;
- ii. aumentar a freqüência de secas extremas sobre todo o NEB;



O CLIMA DO NORDESTE : RESUMO

No presente trabalho são abordados os aspectos climáticos relativos à Região Nordeste do Brasil. São apresentados os mecanismos causadores da variabilidade do clima, os métodos em uso para o monitoramento e previsão de anomalias pluviométricas sobre o Nordeste. Também são discutidos aspectos relativos à mudança climática global induzida pelo acúmulo de gases de efeito estufa na atmosfera e seus possíveis efeitos regionais sobre o clima do Nordeste. Ao final são apresentadas sugestões para estabelecimento de monitoramento climático visando a geração de informações gerenciais para o desenvolvimento sustentável da região.

1.1 Base de Dados

As fontes de informações utilizadas para a elaboração deste estudo foram:

i. Modelos:

- Utilizou-se resultados de modelos conceituais (Moura e Shukla, 1981; Hastenrath, 1984; Aceituno, 1988; Nobre e Shukla, 1994) e de modelagem numérica (Moura e Shukla, 1981; Hameed et al., 1993) para a descrição do clima e de sua variabilidade interanual sobre a região semi-árida do Nordeste. Para a elaboração dos cenários de mudança climática sobre o Nordeste do Brasil são utilizados resultados de modelos de circulação geral da atmosfera (Houghton et al., 1990), os quais foram usados em estudos de mudança climática global devido ao aumento da concentração de gases de efeito estufa na atmosfera. Esses modelos e os resultados dos estudos de mudança climática global são descritos em detalhes no relatório final do painel inter governamental sobre mudança climática - IPCC (Houghton et al., 1990).

ii. Estatísticas:

- Alguns dos trabalhos utilizados para realizar as avaliações estatísticas do clima e sua variabilidade sobre o Nordeste apresentadas nesse estudo são: Hastenrath e Heller (1977), Moura e Shukla (1981), Nobre et al. (1984), Nobre e Molion (1988), Magalhães (1992), Nobre e Shukla (1994). Adicionalmente, calcularam-se as distribuições de frequência de precipitação anual sobre cada estado do Nordeste, assim como o semi-árido como um todo. Para tanto utilizam-se séries históricas de precipitação mensal sobre 68 estações pluviométricas sobre o norte do Nordeste.



iii. principais textos:

- O livro de autoria de Carvalho (1988) sobre a economia política do Nordeste constitui um dos principais textos usados para colocar as informações técnicas e científicas sobre o clima do Nordeste em contexto com a realidade política nordestina.

iv. outras fontes

- Outras fontes de informações e dados são referidas ao longo do texto deste trabalho e listadas ao final de cada capítulo.

1.2 Metodologia

A metodologia de elaboração do presente trabalho consistiu de revisão bibliográfica sobre o clima da Região Nordeste do Brasil, sua variabilidade interanual, mudança climática global e efeitos regionais, assim como cálculos estatísticos com dados pluviométricos sobre o Nordeste. Os aspectos climáticos característicos da região são descritos, assim como os mecanismos causadores da variabilidade interanual da precipitação pluviométrica sobre a região. Os aspectos relativos à mudança climática global são abordados sob o enfoque dos possíveis efeitos regionais decorrentes de presumível aquecimento médio da troposfera durante os próximos trinta anos. Dado inexistirem até o momento estudos de mudança climática específicos para a Região Nordeste do Brasil, os cenários de mudança global para a região devem ser tomados com cautela, uma vez que esses são inferidos a partir de valores prognosticados sobre o Nordeste, por modelos globais com baixa resolução espacial sobre o Nordeste.

São descritos os esforços dos governos Federal e Estaduais para o monitoramento climático e previsão de anomalias pluviométricas sobre a região. Também é explorado com exemplos o enorme potencial do uso da informação de monitoramento e previsão climática para auxiliar nos processos de tomada de decisão que minorem os efeitos adversos associados com as secas; que aumentem a produtividade agrícola da região em anos chuvosos.

Com base na experiência passada das iniciativas de "combate à seca" e de do esforço presente de monitoramento e previsão climática, são apresentadas recomendações para a implantação de um sistema de monitoramento e geração de previsões meteorológicas e hidrológicas regionais capazes de minimizar as perdas associadas à variabilidade interanual e interdecadal do clima sobre a região.

1.3 Diagnóstico de sustentabilidade atual

Neste capítulo se descreve os fenômenos atmosféricos que originam chuvas e secas no Nordeste, evidenciando o padrão de ocorrência das secas. Também se aborda de modo sucinto seus impactos sobre o meio ambiente e as populações.

O clima da Terra é determinado em grande parte pela circulação geral da atmosfera e dos oceanos. A circulação geral da atmosfera é resultante do aquecimento diferencial entre o equador e o pólo, da rotação da Terra e da distribuição assimétrica de continentes e oceanos. As circulações oceânicas, muito mais lentas do que as circulações atmosféricas, são originadas em parte como resposta à forçante do vento à superfície e em parte devido aos gradientes horizontais da concentração de sais e da temperatura nos oceanos. Dessa forma, a atmosfera e os oceanos funcionam interligados, redistribuindo calor, umidade e momento sobre o globo e formando, assim, os regimes climáticos das diversas regiões do planeta.

Para as regiões tropicais, as precipitações pluviométricas representam o fator climático mais importante, uma vez que as estações do ano são distinguidas entre si pelo ciclo sazonal da pluviometria. Dado que a temperatura é alta durante todo o ano, as chuvas constituem o elemento climático determinante de grande parte das atividades agrícolas regionais. Localizada no cinturão tropical, onde os climas são geralmente quentes e úmidos, a região nordeste do Brasil (NEB) apresenta características de semi-aridez em sua porção central-norte. Os totais anuais de precipitação sobre o NEB são muito inferiores àqueles observados ao longo de outras longitudes nos trópicos, como a vizinha Região Amazônica, onde a precipitação é três a quatro vezes superior àquela sobre o semi-árido do NEB. Além disso, a pluviometria sobre o semi-árido nordestino é concentrada no período de fevereiro a maio e normalmente apresenta grande variabilidade espacial e temporal intrasazonal e interanual.

Embora as secas representem fenômeno recursivo sobre o NEB, ainda não há uma definição definitiva para elas. A razão principal para isso é que a caracterização da seca depende da quantidade de chuva e de suas distribuições espacial e temporal. Magalhães e Rebouças (1988) usaram a seguinte definição em seu estudo das secas no semi-árido:

1. Um ano de seca extrema ocorre quando a precipitação total fica abaixo de 50% da normal climatológica;
2. Um ano seco ocorre quando a precipitação é 25% inferior à normal climatológica, com maior concentração em dois meses ou menos;
3. Uma seca parcial ocorre quando somente parte do NEB é afetado por seca.



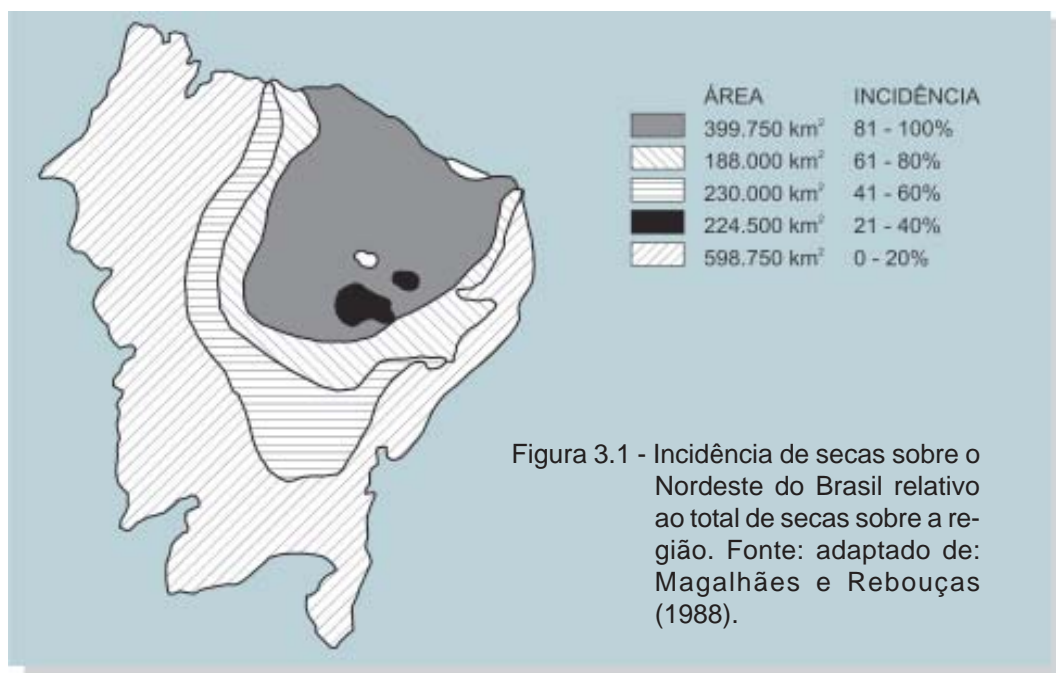


Figura 3.1 - Incidência de secas sobre o Nordeste do Brasil relativo ao total de secas sobre a região. Fonte: adaptado de: Magalhães e Rebouças (1988).

Durante os últimos três séculos os registros históricos indicam ter havido entre 18 a 20 secas a cada 100 anos (Moura e Shukla, 1981; Magalhães e Rebouças, 1988, Rebouças). Contudo, mesmo durante os anos de secas, há grandes variações espaciais da ocorrência de seca na região semi-árida do NEB. A Figura 3.1 mostra a distribuição espacial da incidência de secas sobre o NEB. Os Estados mais afetados são o Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco. Em outros Estados, como o Maranhão, Alagoas, Sergipe e Bahia, as secas normalmente são parciais e causam um impacto menor na agricultura e na vida humana e animal.

A seguir são calculadas as distribuições de freqüências das precipitações anuais para um conjunto de 68 estações pluviométricas sobre o norte do NEB (anexo 1). São geradas séries temporais de precipitação pluviométrica anual para a região semi-árida de cada estado (Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas e norte da Bahia), assim como para o semi-árido sobre o norte do Nordeste como um todo, a partir de dados mensais da pluviometria para o período 1910 a 1992. Com base nessas séries temporais de totais anuais de chuva são computadas as distribuições de freqüência de precipitação em sete classes: extremamente seca (menor ou igual a 50% do total climatológico), seca (de 51% a 70%), ligeiramente seca (de 71% a 90%), normal (de 91% a 110%), ligeiramente chuvosa (de 111% a 130%), chuvosa (de 131% a 150%), extremamente chuvosa (mais de 150% do total climatológico) (Figura 3.2). 73,6% dos anos estudados se encontram entre ligeiramente secos a ligeiramente chuvoso; 13,2% dos anos estiveram compreendidos entre extremamente secos a secos, assim como os anos extremamente chuvosos a chuvoso corresponderam 13,2% do período.

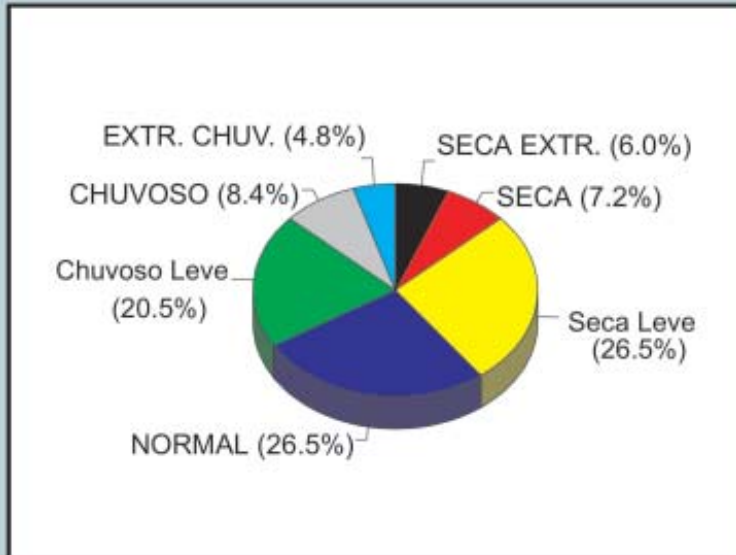


Figura 3.2 - Distribuição de freqüências de precipitações anuais sobre o norte do NEB para o período 1910 a 1992.

Contudo, existem grandes variações das distribuições pluviométricas de estado a estado, assim como dentro de cada estado. Assim, a freqüência de anos extremos para uma localidade específica no semi-árido poderá se desviar consideravelmente do quadro acima para a região como um todo. A análise para cada Estado (Figura 3.3) mostra que o Rio Grande do Norte apresenta a maior freqüência de secas extremas, enquanto o Piauí apresenta a menor ocorrência de secas extremas. Também, a distribuição de precipitações é relativamente plana sobre o Rio Grande do Norte, embora os anos normais a ligeiramente secos ocorram mais freqüentemente do que cada uma das demais categorias separadamente. Assim a variabilidade interanual de precipitações sobre o Rio Grande do Norte é máxima relativa aos demais estados. Por outro lado, o Ceará, Paraíba e Pernambuco experimentam maior número de anos ligeiramente secos ou ligeiramente chuvosos do que anos considerados normais. Alagoas (embora representado por uma única estação no semi-árido) não apresentou anos com seca extrema; a ocorrência mais freqüente foi de anos normais, seguido por anos secos a ligeiramente secos e anos chuvosos a ligeiramente chuvosos. A Bahia, por sua vez, mostra uma distribuição de chuvas com um máximo de freqüência em anos normais. Para efeito de comparações, os histograma para o NEB (que reúne as áreas representadas pelos sete estados graficados) também é mostrado na Figura 3.3 e reproduz os dados mostrados na Figura 3.2.

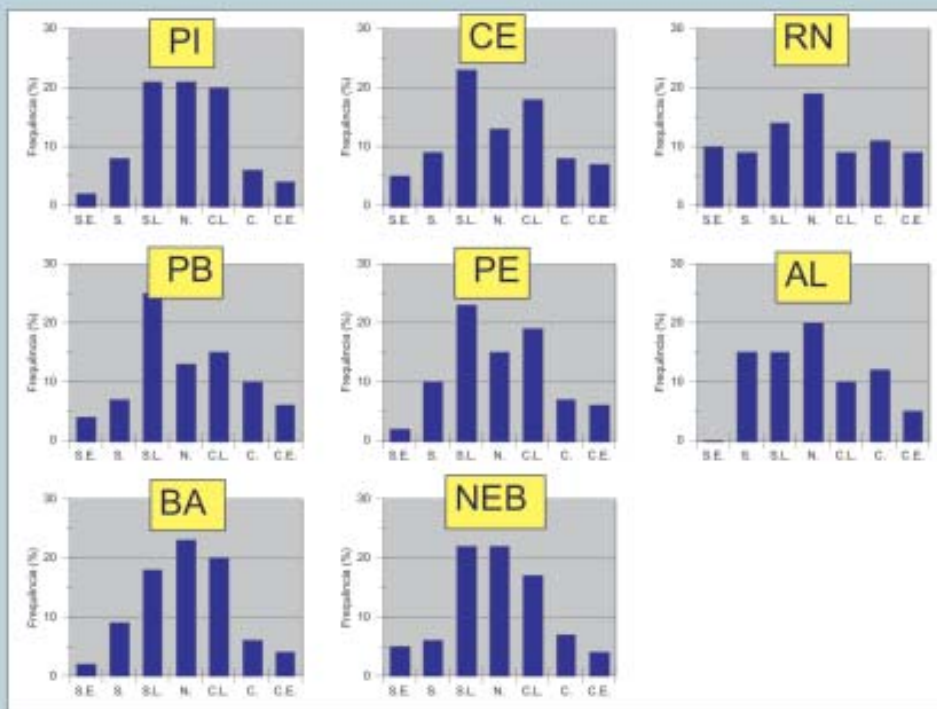


Figura 3.3 - Histogramas das distribuições de freqüências da pluviometria anual sobre as porções semi-áridas dos estados indicados na figura e para o conjunto dessas áreas, representando o norte do Nordeste (NEB) para o período 1910 a 1992. S.E = seca extrema; S. = seca; S.L. = seca leve; N. = normal; C.L. = levemente chuvoso; C. = chuvoso; C.E. = extremamente chuvoso.

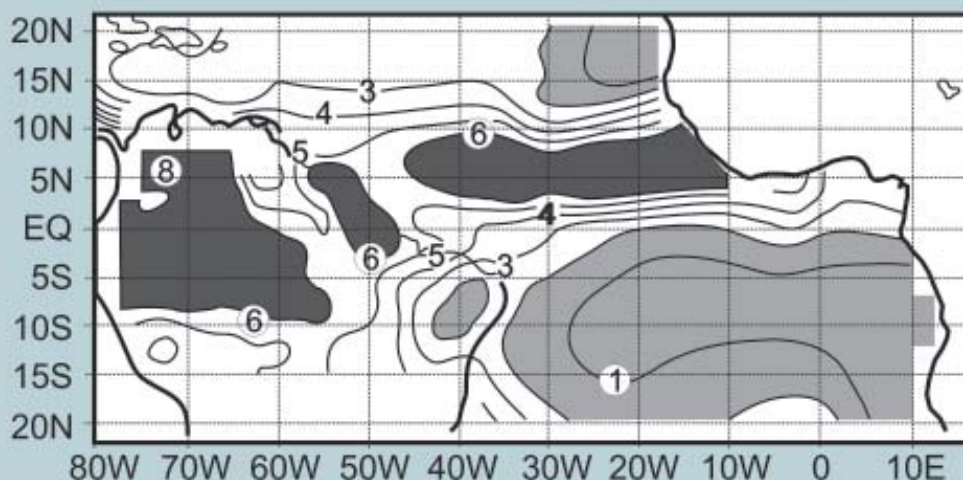


Figura 3.4 - Precipitação média anual (mm/dia) sobre o Atlântico Tropical e parte norte da América do Sul. Fonte: adaptado de Nobre (1993).

É notável que as regiões que apresentam máxima incidência de secas na Figura 3.1 coincidam com as regiões de menores totais anuais de precipitação, como ilustrado na Figura 3.4. Também, a Figura 3.4 mostra que os baixos totais anuais observados sobre o NEB fazem parte de uma grande região de precipitações pluviométricas escassas, que abrangem todo o Atlântico Tropical Sul. Além disso, estudos recentes mostraram que as anomalias pluviométricas que causam secas sobre o norte do NEB apresentam escala espacial muito maior do que o próprio NEB, cobrindo todo o Atlântico tropical entre 5° N e 15° S e estendendo-se para oeste até a Amazônia Central (Nobre, 1993).

As precipitações pluviométricas sobre o NEB são de caráter predominantemente convectivo, característico de regiões tropicais. Assim, as chuvas sobre a região apresentam grande variabilidade tanto espacial quanto temporal. Além disso, a região é coberta por três regimes principais de chuvas:

- O sul do Nordeste (compreendendo o oeste, centro-sul e leste do Estado da Bahia e o sul dos Estados do Maranhão e Piauí): A estação chuvosa sobre essa região ocorre durante dezembro-janeiro-fevereiro, e está associada à penetração de frentes frias provenientes de latitudes altas do hemisfério sul (Kousky, 1979).
- O regime de chuvas associado à zona de convergência intertropical (ZCIT) sobre o Atlântico equatorial, que atua sobre o norte e leste do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte e sertões dos Estados da Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e região norte-nordeste da Bahia. A estação chuvosa sobre essas regiões se concentra nos meses de março-abril-maio (Hastenrath e Heller, 1977).
- As chuvas sobre o leste do Nordeste, que são de efeito local e cobrem a faixa costeira leste (zona da mata e agreste) do Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e litoral norte da Bahia. O período mais chuvoso sobre essas regiões são maio-junho-julho (Lima, 1991).

Dentre os regimes pluviométricos mencionados acima, aquele associado à ZCIT e que afeta o semi-árido do NEB é o que tem sido mais extensivamente estudado pela comunidade científica internacional. Desta forma, é também o regime de chuvas para o qual estão disponíveis os métodos de previsão mais elaborados. Com uso de modelos dinâmico-estatísticos, que incorporam o conhecimento sobre os processos físicos da atmosfera e dos oceanos associados à variabilidade interanual da precipitação sobre o norte do NEB, assim como com o uso mais recente de modelos numéricos de circulação geral da atmosfera (MCGA), hoje é possível prognosticar a qualidade da estação chuvosa sobre o norte do NEB com até três meses de antecedência.



A Zona de Convergência Inter Tropical (ZCIT)

Um dos fatores mais importantes para determinar a qualidade da estação chuvosa sobre o semi-árido do NEB (i.e., se deficiente ou abundante) é a posição latitudinal da ZCIT sobre o Atlântico ocidental próximo à costa da América do Sul. A migração sazonal da ZCIT normalmente oscila entre aproximadamente 14° N durante agosto-setembro e 2° S em março-abril. Em anos de seca a ZCIT normalmente permanece ao norte do equador, portanto não atingindo o NEB. Nessas ocasiões, o NEB permanece ao sul da região com máximo de precipitação, numa região de ar descendente que inibe a formação de nuvens e precipitação. Já em anos chuvosos, a ZCIT se desloca até aproximadamente 5° S e permanece sobre o NEB até meados de maio. A ZCIT é uma banda de baixa pressão e convergência dos ventos nos baixos níveis da atmosfera próximos à superfície. Convergência de umidade próximo à superfície produz condições favoráveis para movimentos ascendentes do ar, condensação do vapor d'água, formação de nuvens e altas taxas de precipitação. Assim, quando a ZCIT se situa nas imediações do NEB, a circulação atmosférica de larga escala favorável a precipitações intensas também se encontra sobre o NEB, favorecendo a ocorrência de precipitações intensas principalmente sobre o norte do NEB.

Uma vez que a ZCIT é parte da circulação geral da atmosfera, é de se esperar que os fatores condicionantes da variabilidade interanual de sua posição latitudinal e intensidade estejam vinculados com a circulação atmosférica de escala planetária e das condições de contorno sobre o oceano, notadamente as temperaturas da superfície do mar (Mitchell e Wallace, 1992). Nesse sentido há vários trabalhos observacionais e teóricos que indicam que as anomalias pluviométricas sobre o NEB estão associadas com anomalias de circulação atmosférica muito maiores do que o NEB (Namias, 1972; Hastenrath e Heller, 1977; Moura e Shukla, 1981; Nobre et al., 1985; Nobre e Shukla, 1994). Esses estudos mostram que em anos nos quais houve grandes anomalias pluviométricas sobre o NEB a circulação atmosférica sobre todo o Atlântico esteve alterada.

Durante anos chuvosos os ventos alísios de nordeste são mais intensos do que a média, a pressão ao nível do mar (PNM) é mais alta do que a média sobre o Atlântico Norte, as temperaturas da superfície do mar (TSM) sobre o Atlântico tropical norte são mais frias do que a média; sobre o Atlântico Sul um padrão inverso se estabelece: alísios de sudeste mais fracos, PNM mais baixa, TSM mais quentes. Para anos de secas sobre o norte do NEB se observa o quadro oposto: sobre o Atlântico Norte se observam anomalias positivas de TSM, anomalias negativas de PNM e alísios de NE mais fracos; e o oposto sobre o Atlântico Sul.

Nobre e Shukla (1994) sugeriram que anomalias de TSM e de vento à superfície sobre o Atlântico tropical interagem entre si para desenvolver os

padrões de TSM, PNM e ventos normalmente associados com anomalias pluviométricas sobre o NEB. Eles também indicaram que o fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENOS) age de forma a favorecer a formação de anomalias de PNM, ventos e TSM em oposição de fase relativo ao equador sobre o Atlântico tropical. Assim, em anos nos quais o Pacífico equatorial leste está mais aquecido do que a média, forma-se um padrão de teleconexão entre o Pacífico e a América do Norte, o qual favorece a diminuição das PNM sobre o Atlântico Norte. Isto acarreta ventos alísios de nordeste menos intensos do que a média, que por sua vez interagem com o oceano gerando anomalias positivas de TSM. Ao mesmo tempo, o aquecimento sobre o Pacífico equatorial leste favorece o estabelecimento de uma circulação anômala zonal com ramo descendente sobre o Atlântico Sul. Esta causa um aumento das PNM e respectivo aumento da circulação anticiclônica em superfície, o que leva a uma diminuição das TSM sobre o Atlântico Sul.

Em resumo, a ocorrência do ENOS favorece ao relaxamento do gradiente meridional de TSM sobre o Atlântico equatorial, que favorece o retraimento da ZCIT para posições mais ao norte e conseqüente diminuição da pluviosidade sobre o norte do NEB. Além desse efeito indireto do ENOS sobre as precipitações sobre o NEB, há indicações que em alguns anos o efeito direto de inibição dos processos de formação de chuvas se fez sentir de modo especial.

O principal mecanismo causador de chuvas sobre a região sul do Nordeste são as frentes frias provenientes do Sul da América do Sul. A variabilidade das chuvas sobre o sul do Nordeste é devido em grande parte ao posicionamento da zona de convergência do Atlântico Sul (ZCAS), que varia latitudinalmente de ano para ano. Há poucos estudos sobre a variabilidade interanual da ZCAS; contudo, existe evidências de que o fenômeno de aquecimento das águas do Pacífico equatorial leste (conhecido como El Niño) tenha uma influência tanto na intensidade quanto no posicionamento da ZCAS.

A previsibilidade de anomalias pluviométricas sobre o sul do Nordeste está associada à previsibilidade dos sistemas atmosféricos de escala sinótica. As práticas atuais de previsão do tempo, que usam modelos numéricos de circulação geral da atmosfera, somente permitem prever o estado futuro da atmosfera em regiões como o sul do Nordeste com antecedência máxima de três a cinco dias.

Os regimes de chuva sobre a parte leste do Nordeste, compreendendo a zona da mata e o agreste são os menos estudados dentre os regimes pluviométricos que atuam sobre o Nordeste. As precipitações sobre o leste do NEB são produzidas por nuvens baixas e médias, de caráter estratiforme e pouco desenvolvimento vertical. Lima (1991) mostrou que a precipitação sobre o leste do NEB está relacionada com as TSM sobre o Atlântico Tropi-





cal e o posicionamento da alta pressão do Atlântico Sul, a qual modula a direção e intensidade dos ventos alísios de sudeste ao longo da costa leste do Nordeste.

1.4 Cenário Tendencial

Nesta seção é elaborado um cenário tendencial da variabilidade climática sobre o Nordeste, considerando que os padrões de ocorrência de secas observados até o presente se manteriam inalterados no futuro de algumas dezenas de anos. Para tanto, basear-nos-emos nos dados existentes de pluviometria e de ocorrência de secas sobre a região.

Os indicadores a serem utilizados são a umidade do solo e os fatores que a modificam, direta ou indiretamente, tais como a pluviometria, temperatura do solo e do ar à superfície, a cobertura vegetal, áreas irrigadas e a densidade populacional.

A probabilidade de ocorrência de seca sobre o Nordeste, com base no registro histórico da ocorrência de secas sobre a região durante os últimos 400 anos é aproximadamente 20% (Magalhães e Rebouças, 1988). Sob a hipótese de manutenção das condições climáticas atuais, portanto, são esperados por volta de 20 anos de seca sobre Nordeste a cada século. Este número, porém, não indica a probabilidade da distribuição temporal desse número médio de anos esperados de secas, se ocorrerão em grupos com secas multi-anuais (como por exemplo os anos de 1979-1983 e 1990-93), ou se ocorrerão intercalados com anos com bom inverno (i.e., alta pluviosidade). Durante os últimos cem anos ocorreram seis períodos nos quais as secas foram multi-anuais (dois ou mais anos consecutivos de seca) e ocorreram seis secas extremas (nas quais a precipitação média para a região ficou inferior a 50% do total anual climatológico - 1900, 1915, 1919, 1958, 1983 e 1993) num total de 25 anos de secas (Magalhães e Rebouças, 1988).

Com base nessas considerações preliminares, uma extrapolação linear dos anos com deficiência pluviométrica sobre o Nordeste nos levaria ao pensamento, errôneo, de que até o ano 2020 ocorreriam cinco anos de seca (i.e., frequência de 20 secas por século durante 25 anos). Este cálculo é errôneo por assumir que, se de fato se observar o número médio de secas ocorridas no passado, estas ocorrerão igualmente distribuídas ao longo dos anos. Esta hipótese, conquanto em erro, não seria tão grosseira quanto o é desconsiderar no cálculo da frequência de secas, o fator antrópico de degradação do meio ambiente e aumento da demanda do recurso hídrico induzidos por aumento populacional regional.

Portanto, projetar um cenário futuro dos impactos da variabilidade interanual da precipitação pluviométrica sobre o Nordeste, tomando como base o padrão atual de secas sobre a região, significa acessar a demanda projetada do recurso água, assim como sua capacidade projetada de armazenagem, reposição e distribuição. Embora esses assuntos não constituam parte central dos termos de referência do presente artigo, são analisados abaixo de forma sumária como meios auxiliares para a presente discussão. Esses serão abordados de forma extensiva em outros artigos em preparação e que contarão com os cenários de variabilidade climática aqui apresentados como insumo para suas projeções de cenários futuros.

a) Densidade populacional:

O aumento da densidade populacional sobre o Nordeste, -- semi-árido, agreste e zona da mata em conjunto -- representa um fator de grande peso na avaliação dos impactos da variabilidade interanual de chuvas sobre o Nordeste nos setores produtivos da sociedade e no bem estar da população nordestina. Isto, porque o aumento populacional altera o balanço entre oferta e demanda de água. Não somente pelo simples aumento de consumo dos recursos hídricos nas várias atividades econômicas que o utilizam, mas também, e fundamentalmente, pelas alterações da capacidade de retenção de água no solo associadas com o desnudamento das coberturas vegetais nativas da região. Desta forma, o crescimento populacional e acesso da população a água para fins agropastoris e para consumo humano aumenta sua demanda, ao mesmo tempo em que diminui, por mecanismos indiretos, sua oferta. Disto resultaria um aumento da disputa dos recursos hídricos entre os diversos setores que a utilizam como insumo para produção (e.g. os setores agrícola, pecuarista, de geração de energia elétrica e abastecimento industrial e urbano), maximizando os impactos negativos da variabilidade interanual de chuvas sobre a região.

b) Cobertura vegetal:

Um dos efeitos indiretos da explosão populacional é o aumento da pressão sobre os recursos naturais de cobertura vegetal nativa pelo desflorestamento para consumo da lenha e expansão das fronteiras agrícolas. Ambos fatores levam a um grande aumento da superfície desvegetada sobre a região, acarretando aumento de processos erosivos pelo vento e pela água e de impermeabilização do solo por oxidação da matéria orgânica exposta à insolação direta. Disso resulta:

- i. aumento do escoamento superficial;
- ii. diminuição da fração de água retida no solo na forma de umidade;





- iii. aumento da taxa de assoreamento das calhas de escoamento dos rios;
- iv. empobrecimento do solo pelo lixiviamento do húmus na porção superior do solo;

Estes fatores, em conjunto, favorecem o aumento de ocorrência de enchentes nas áreas de várzeas durante períodos de precipitações mais intensas, assim como o aumento da suscetibilidade para a ocorrência de secas agrícolas durante a ocorrência de veranicos prolongados.

c) Construção de açudes e barragens:

Aumentar o volume de água armazenada na forma de açudes e barragens pode contribuir para minimizar os efeitos adversos da escassez de água decorrente da falta de chuvas. A água assim armazenada normalmente serve para suprir o consumo humano e em alguns casos para irrigação de culturas nas imediações dos açudes durante o primeiro e segundo ano com deficiência pluviométrica sobre uma região. Contudo, em períodos de estiagens prolongadas, como se observou entre 1990 e 1993, a maioria dos pequenos açudes e barreiros secam, enquanto a qualidade da água nos grandes açudes se degrada de tal forma a não se tornar própria para consumo humano.

Uma "solução" de engenharia utilizada recentemente pelo Governo do Ceará para evitar o total colapso de abastecimento de água para a região metropolitana de Fortaleza após três anos com estações chuvosas deficientes e durante a seca severa de 1993, foi o de divergir água do açude Orós, via rio Jaguaribe, no coração do semi-árido, para o sistema de abastecimento de água de Fortaleza. Há mais de um século se estuda e debate a questão da transposição de águas do rio São Francisco/Tocantins para o semi-árido do Nordeste.

A transposição de águas entre bacias para solucionar o problema de escassez de água numa determinada região por certo não é recente. Contudo, exemplos históricos podem não se aplicar para o presente em função do volume de água necessário para atender às demandas diretas e indiretas do contingente populacional que hoje se aglomera sobre o Nordeste.

O aspecto mais fundamental para a questão do desenvolvimento sustentável do semi-árido nordestino, porém, não reside na questão do volume de água disponível por qualquer meio técnico utilizado, mas sim, na questão do acesso a água à larga faixa da população pobre (Carvalho, 1988).

d) Uso eficiente do recurso hídrico:

O uso intensivo de técnicas apropriadas de irrigação representaria uma maneira de aumentar a convivência com a variabilidade interanual das chuvas sobre o semi-árido. Não somente isto, mas o uso sistemático de determinados processos de irrigação permitiria transformar o que hoje ainda representa uma adversidade para o crescimento econômico do Nordeste, o clima semi-árido e as secas, num fator de vantagem competitiva em relação a outras partes do Brasil e do mundo.

O uso de avanços tecnológicos no manejo de água na agricultura, como, por exemplo, a técnica de irrigação por gotejamento, ao mesmo tempo que reduz o uso de água, permite o cultivo de frutas tropicais de alto valor econômico nos mercados nacional e internacional. Além disso, na irrigação por gotejamento o problema de salinização do solo é minimizado relativamente à irrigação por aspersão. Contudo, enquanto a primeira técnica demanda considerável aporte de tecnologia e exerce um mínimo de dispêndio de água, a segunda requer uma tecnologia de maior acessibilidade mas é pouco eficiente relativamente à quantidade de água utilizada diretamente para aumentar a umidade do solo.

Assim sendo, considerando que a variabilidade interanual do clima sobre a Região Nordeste do Brasil permanecerá inalterada durante os próximos trinta anos, há vários fatores antrópicos que poderão vir a afetar a disponibilidade do recurso hídrico para as atividades humanas, agropastoris e industriais na região. Dentre esses, o crescimento populacional representa um fator de alavancagem para aumentar os impactos sociais e econômicos negativos da escassez de chuvas sobre a região.

Num quadro de crescimento populacional com os índices registrados presentemente, é de se esperar que os estados que sofrerão os maiores impactos com as secas serão aqueles que contam com maior fração de sua área na região semi-árida, tais como o Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco. Estados como a Bahia, Sergipe e Alagoas poderiam vir a aproveitar o potencial hídrico representado pelo rio São Francisco, enquanto o Maranhão conta com a influência do regime pluviométrico amazônico.

Contudo, é preciso notar que a degradação da cobertura vegetal favorece a ocorrência de variações extremas da umidade do solo também em áreas marginais ao semi-árido, como por exemplo o Maranhão e a zona da mata ao longo do litoral leste do Nordeste.



1.5 Cenário de Mudanças Climáticas

Uma pergunta cabível no planejamento para o desenvolvimento sustentável do Nordeste é: Caso venham ocorrer mudanças climáticas globais, como se comportaria o clima do Nordeste? Até o presente, não existem estudos específicos de mudança climática regional sobre a Nordeste do Brasil. Porém, vários estudos já foram realizados sobre mudança climática global devido ao possível aquecimento atmosférico resultante do acúmulo de gases de efeito estufa na atmosfera (Houghton et al., 1990; Houghton et al., 1992). Neste capítulo são apresentados as principais conclusões do painel intergovernamental sobre mudança climática (IPCC) (Houghton et al., 1990) relativas a mudança climática global; são especulados os possíveis impactos de mudanças climáticas globais sobre o clima do Nordeste do Brasil. No anexo 2 desse artigo são apresentadas sugestões de projetos de pesquisa para substanciar as conjecturas levantadas neste capítulo.

O conhecimento atual sobre mudança climática:

A maior parte do conhecimento atual sobre mudanças climáticas provém dos resultados de experimentos com modelos de circulação geral da atmosfera (MCGA), os quais simulam numericamente o comportamento do sistema climático da Terra. Com base em resultados de experimentos de modelagem climática onde a concentração de CO₂ é duas vezes aquela atual, acredita-se que o seguinte quadro de mudanças possa vir a ocorrer (Houghton et al., 1990; Houghton et al., 1992):

- (1) Que haja um aumento da temperatura média do ar à superfície entre 1.5°C e 4.5°C durante os próximos cem anos. Espera-se que as superfícies terrestres aqueçam mais rapidamente do que os oceanos e que durante o inverno em latitudes altas se registre um aumento de temperatura superior ao da média mundial.
- (2) Que haja um aumento médio global da precipitação, mas com aumentos e diminuições significativas para determinadas regiões e estações do ano. A maioria dos resultados de modelos mostram aumento da precipitação em latitudes altas e sobre o trópicos durante todo o ano e durante o inverno sobre latitudes médias. Ressalta-se, porém, que as previsões de mudanças regionais são pouco confiáveis, principalmente sobre as regiões tropicais e sobre o Hemisfério Sul. Parece haver alguma concordância, contudo, que com o aquecimento global precipitações de origem convectiva irão aumentar, às custas de precipitações de grande escala. Assim, pode ser antecipada a ocorrência de eventos de precipitação extrema (Mitchell et al., 1990).

Simulações de secas

Embora seja difícil defini-la ou quantificá-la, a seca é um dos eventos extremos mais importantes a serem analisados quando se avalia as possíveis mudanças climáticas relacionadas com o aquecimento global induzido pelo acúmulo de gases de efeito estufa na atmosfera.

A mudança na frequência de secas sobre uma determinada localidade é afetada por mudanças do estado médio do clima, tais como temperatura e precipitação, assim como a variabilidade climática em várias escalas de tempo (Mearns, 1992). A seca é um evento extremo consideravelmente complexo. Tanto seu início quanto seu término não podem ser claramente determinados no tempo. Também, é difícil medir a severidade de uma seca, uma vez que esta é o resultado da combinação de fatores tais como duração, intensidade e extensão territorial. Além disso, há vários tipos de secas: a seca meteorológica, a seca agrícola e a seca hidrológica.

O desenvolvimento e causas de condições de secas regionais têm sido estudadas através de experimentos de modelagem numérica de escala global. Esses experimentos consistem basicamente do teste de hipóteses para determinar se, e como, uma forçante externa do sistema climático afeta a disponibilidade de água no solo. Uma das conclusões mais importantes a que chegaram Rind et al. (1991), em seus experimentos da probabilidade do desenvolvimento de secas usando o MCGA do Goddard Institute for Space Studies (GISS) é que o fator mais preponderante para a ocorrência de secas num cenário de efeito estufa (concentração de CO₂ dobrada) era o aumento da evapotranspiração, a qual é uma função da temperatura à superfície. Em seu estudo, as mudanças na precipitação mostraram ser secundárias em importância na determinação de condições de secas. Ainda segundo seus resultados, secas sobre os Estados Unidos que atualmente ocorrem 5% do tempo durante o verão do Hemisfério Norte, passariam a ocorrer cerca de 40% do tempo por volta do ano 2050 sob as condições de mudança climática global induzida pelo aquecimento atribuído ao acúmulo dos gases de efeito estufa.

A geração de cenários de mudança climática

Pode-se utilizar três métodos para gerar cenários de mudança climática: reconstrução a partir de registros paleoclimáticos, através do uso de registros históricos, ou por simulação numérica usando modelos de circulação geral da atmosfera (MCG) (Lamb, 1987).

O estudo de séries temporais construídas com base em medidas paleoclimáticas permite inferir o comportamento médio de características climáticas da Terra durante milhares de anos passados. A Figura 5.1 mostra valores de temperatura do ar e concentração de CO₂ atmosférico nos últi-



mos 160 mil anos, como estimado a partir de perfurações profundas do gelo na Antártica (Gore, 1993). Uma maneira para gerar um cenário de mudança climática na Terra consiste na extrapolação por métodos estatísticos de séries temporais paleoclimáticas, como as mostradas na Figura 5.1, para o futuro. As limitações para o uso de tal método estão no conhecimento relativamente recente e somente sobre alguns poucos pontos na Terra, onde registros paleoclimáticos estão disponíveis.

O uso de registros históricos pode constituir uma alternativa válida para se elaborar um cenário regional de mudança climática. No caso do presente estudo, o registro histórico da frequência de secas sobre o Nordeste foi utilizado para construir o cenário tendencial da variabilidade climática como observada até o presente, apresentado no capítulo 4. Também foi utilizado para projetar possíveis cenários de distribuição de frequência de secas no futuro tomando em conta somente uma possível mudança do total pluviométrico sobre o Nordeste durante os próximos 35 anos.

No entanto, para se encontrar valores plausíveis para taxas de variação dos parâmetros atmosféricos que afetam o clima do NEB é necessário recorrer a outros métodos, que permitam prever os possíveis cursos de evolução do clima na Terra, levando em consideração o conhecimento, as observações e as ferramentas hoje disponíveis. Tais métodos incluem utilizar modelos de circulação geral da atmosfera e dos oceanos para estimar o efeito de mudança da temperatura do ar devido ao acúmulo de gases de efeito estufa na atmosfera. Mesmo considerando as limitações intrínsecas às imperfeições dos modelos, o uso deste método permite formar possíveis cenários de mudança climática global e regional do clima, com base no conhecimento atual sobre a dinâmica dos fluidos geofísicos. A grande vantagem de tal metodologia reside em permitir que o clima da Terra adquira um estado antes não observado, em função da interação múltipla dos vários processos que ocorrem sobre o planeta e que modificam a composição química da atmosfera.

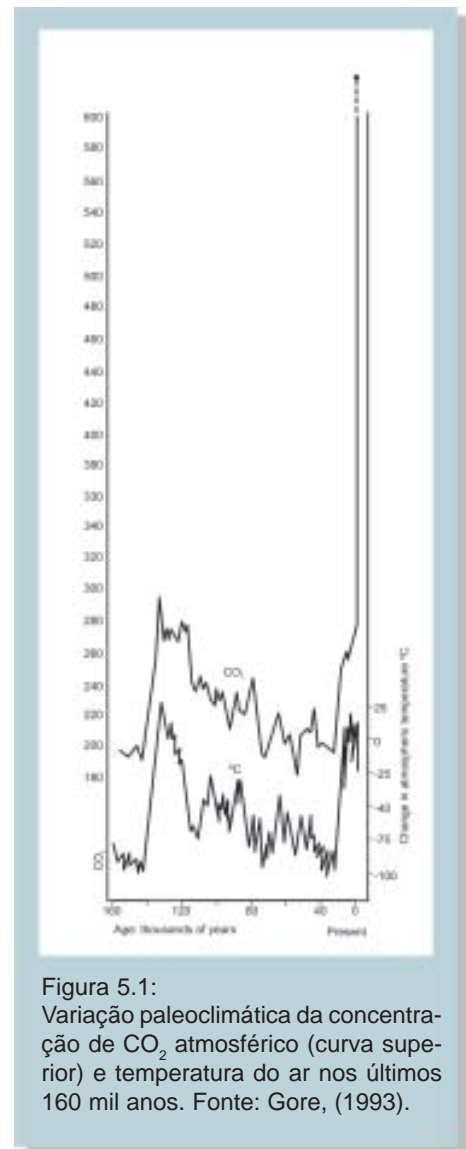


Figura 5.1:
Variação paleoclimática da concentração de CO₂ atmosférico (curva superior) e temperatura do ar nos últimos 160 mil anos. Fonte: Gore, (1993).

Mesmo considerando o grau de incerteza dos resultados dos modelos de circulação geral da atmosfera como indicadores de possíveis cenários de mudança climática, principalmente em escala regional, a capacidade demonstrada de tais modelos de simular variações passadas do clima da Terra nos dá esperança que estes também sejam capazes de ao menos indicarem a direção das mudanças climáticas devidas a um aumento de temperatura da atmosfera da Terra.

Cenário de mudança climática regional sobre o Nordeste

Dentre os elementos atmosféricos e ambientais que modificam a umidade do solo estão a temperatura do ar à superfície, precipitação pluviométrica e cobertura vegetal. Existem ainda outros agentes que modificam os indicadores acima de formas variadas, como o efeito do albedo (associado ao desnudamento do solo) nos processos de desertificação, as temperaturas da superfície do mar na distribuição e intensidade das chuvas e o do crescimento populacional na cobertura vegetal.

A fim de se montar um cenário das condições climáticas sobre o semi-árido do Nordeste sob a hipótese de aquecimento global da troposfera, supondo que com o aquecimento médio global da troposfera, da ordem de 0.3* C a cada dez anos:

- i. Haverá um aquecimento médio da troposfera tropical;
- ii. A temperatura média do ar à superfície sobre os continentes se elevará mais do que sobre os oceanos;
- iii. Os maiores aumentos de precipitação pluviométrica se concentrarão sobre as latitudes altas e médias;
- iv. As precipitações sobre os trópicos, provenientes de convecção atmosférica profunda, se tornarão mais intensas e episódicas;

É plausível supor que o efeito combinado de elevadas temperaturas do ar e o regime pluviométrico caracterizado por chuvas descontínuas no tempo e espaço, seja o de diminuir a umidade do solo, e com isto tornar a região mais suscetível à ocorrência de secas. Contudo, embora as mudanças na evapotranspiração, as quais são determinadas principalmente por mudanças da temperatura do ar à superfície, possam ser as mais importantes para mudança geral da frequência de secas, as mudanças da precipitação, em particular de sua variabilidade interanual, são certamente muito importantes para o refinamento do conhecimento sobre frequência e severidade da ocorrência de secas.

No presente artigo são especuladas as conseqüências das suposições de aumento da temperatura do ar durante os próximos 35 anos como



resultado do efeito estufa e de mudanças dos padrões de temperatura da superfície do mar sobre os oceanos tropicais para o clima da Região Nordeste. Os indicadores de mudança climática escolhidos para cenarizar as condições climáticas sobre o Nordeste do Brasil nos anos 2000, 2010 e 2020 devido ao aquecimento global atribuído ao acúmulo de gases de efeito estufa na atmosfera da Terra são:

- i. a temperatura do ar à superfície,
- ii. a precipitação pluviométrica e
- iii. a umidade do solo.

Utilizam-se os resultados das simulações dos modelos de alta resolução espacial (relativo às demais simulações numéricas de mudanças climáticas) utilizados no relatório final do IPCC (Houghton et al., 1990). Contudo, uma vez que aqueles dão maior ênfase às estações de inverno e verão (dezembro a fevereiro e junho a agosto), e não detalham os resultados sobre a Região Nordeste do Brasil, algumas hipóteses são feitas para cenarizar variações climáticas sobre o Nordeste, induzidas pelo aquecimento global devido à acumulação de gases de efeito estufa na atmosfera.

- 1) Os desvios de temperatura, precipitação e umidade do solo durante o período de março a maio (MAM) podem ser aproximados pela média aritmética dos desvios previstos para dezembro a fevereiro (DJF) e junho a agosto (JJA);
- 2) Os desvios de precipitação se observam somente durante os quatro meses mais chuvosos sobre cada região do Nordeste (Sul, Norte e Leste), de modo que o desvio total anual de chuvas é 120 vezes o desvio em milímetros por dia.
- 3) Os cenários de mudança climática para o Nordeste para os anos 2000, 2010 e 2020 são encontrados interpolando os valores para a condição de CO₂ dobrado (supostamente no ano 2030) linearmente para cada um daqueles anos.

Tomando como base os resultados de simulações climáticas para uma situação na qual a concentração de CO₂ na atmosfera seria o dobro da atual (a qual, sob a hipótese de atividade "situação habitual" do IPCC ocorreria por volta do ano 2030), cenarizam-se as seguintes variações da temperatura do ar, precipitação pluviométrica e umidade do solo sobre o Nordeste do Brasil:

	TEMPERATURA (°C)	PRECIPITAÇÃO (mm/dia)	UMIDADE DO SOLO (mm)
Cenário 1	2,0	0,0	-9,0
Cenário 2	4,0	-1,0	-24,0

TABELA 1: Cenários para desvios de temperatura, precipitação e umidade do solo sobre o Nordeste do Brasil no ano 2030 devido ao aquecimento global decorrente do acúmulo de gases de efeito estufa na atmosfera .

Assume-se, ainda, que os cenários de mudança climática sobre o Nordeste para temperatura e umidade do solo sejam constantes durante todo o ano, enquanto para precipitação as variações somente ocorram durante o período de quatro meses mais chuvosos sobre cada região no Nordeste. Desta forma, as variações de precipitação, que na tabela acima são expressas em mm por dia, são transformadas para mm por ano. Também, os valores de variações da pluviosidade são convertidos para percentual da isoietta de 800 mm/ano. A utilização desse percentual, ao invés de um valor constante espacialmente, permite cenarizar os impactos nos recursos hídricos e meio ambiente por meio de simples variação percentual da precipitação climatológica em cada estação pluviométrica. Com base nos valores da tabela e considerações acima, interpolam-se linearmente os valores correspondentes aos anos 2000, 2010 e 2020:

Variável \ Ano	2000	2010	2020	2030
Temperatura (°C)	0,6	1,7	2,9	4,0
Umidade Solo (mm)	3,4	-10,3	17,1	-24,0
Precipitação (mm/ano)	17,1	-51,4	85,7	120,0
Precipitação (%)	2,1	6,4	10,7	-15,0

TABELA 2: Cenário 1 para desvios de temperatura, precipitação e umidade do solo sobre o Nordeste do Brasil nos anos 2000, 2010, 2020 e 2030 devido ao aquecimento global decorrente do acúmulo de gases de efeito estufa na atmosfera.

Variável \ Ano	2000	2010	2020	2030
Temperatura (°C)	0,3	0,9	1,4	2,0
Umidade Solo (mm)	-1,3	-3,9	-6,4	-9,0
Precipitação (mm/ano)	0,0	0,0	0,0	0,0
Precipitação (%)	0,0	0,0	0,0	0,0

TABELA 3: Idem à Tabela 1, mas para o cenário 2.

Discussão:

Cenário 1: Neste cenário, estima-se que:

- a temperatura do ar à superfície aumentará a uma taxa constante de 0,0571°C por ano;



- a umidade do solo decrescerá a uma taxa constante de $-0,2571$ mm por ano.
- os totais pluviométricos anuais permanecerão inalterados durante o tempo cenarizado;

Cenário 2: Neste cenário, estima-se que:

- a temperatura do ar à superfície aumentará a uma taxa constante de $0,1143^{\circ}\text{C}$ por ano;
- a umidade do solo decrescerá a uma taxa constante de $-0,2571$ mm por ano.
- são feitas duas estimativas para o decréscimo da pluviometria sobre o Nordeste:
 - uma na qual a taxa de variação é constante espacialmente à taxa de $-3,4286$ mm por ano. Neste cenário, o maior impacto ocorreria nas áreas mais secas do semi-árido, onde os desvios percentuais seriam maximizados;
 - outra na qual a diminuição percentual da pluviometria é constante, à taxa de $-0,4286\%$ ao ano. Nesta projeção, o maior impacto ocorreria nas regiões onde a pluviosidade anual é mais elevada.

Embora não esteja sendo cenarizada aqui, há indicações que as chuvas sobre as regiões tropicais se tornariam mais intensas e episódicas, o que traria consequências para a quantidade e qualidade dos recursos hídricos, umidade e erosão do solo, defesa civil (inundações), entre outras. Quanto à porcentagem de anos de seca, que presentemente situa-se em torno de 20% dos anos (6% para secas extremas), estima-se que esta aumente na proporção em que aumente a temperatura do ar mesmo sem o decréscimo da pluviometria (ocasionando maior número de secas agrícolas), e quando também haja diminuição dos totais de chuva sobre a região. Essa questão é abordada na secção seguinte.

Usando séries históricas (1910 a 1992) dos registros de precipitação pluviométrica anual sobre o semi-árido do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas e norte da Bahia como indicadores, cenariza-se as possíveis mudanças das freqüências de secas sobre o semi-árido do norte do NEB.

Método de projeção empregado consistiu em gerar séries sintéticas de precipitação pluviométrica tomando como base as séries históricas de pluviometria de um conjunto de postos pluviométricos sobre o Nordeste. Subtraiu-se da precipitação anual observada sobre cada estação e cada ano o percentual de mudança cenarizado no cenário 2 acima. Foram calculadas as freqüências de distribuição de chuva das séries sintéticas tendo em conta as médias pluviométricas atuais (i.e., não reduzidas) para cinco classes: extremamente seca (menor ou igual a 50% do total climatológico),

seca (de 51% a 80%), normal (de 81% a 120%), chuvosa (de 121% a 150%), extremamente chuvosa (mais de 150% do total climatológico)

A Figura 5.2 mostra as distribuições de freqüências pluviométricas anuais sobre o Norte do NEB para os anos 2000, 2010, 2020 e 2030, sob a hipótese de diminuição dos totais pluviométricos anuais como cenarizado no cenário 2. Note-se, porém, que os percentuais de seca e anos chuvosos apresentados nesta figura se referem somente ao efeito de mudança da precipitação; não incluem outros fenômenos que afetam a disponibilidade de umidade do solo, tais como o aumento da temperatura do ar, aumento do escoamento superficial associado à diminuição da cobertura vegetal natural, entre outras.

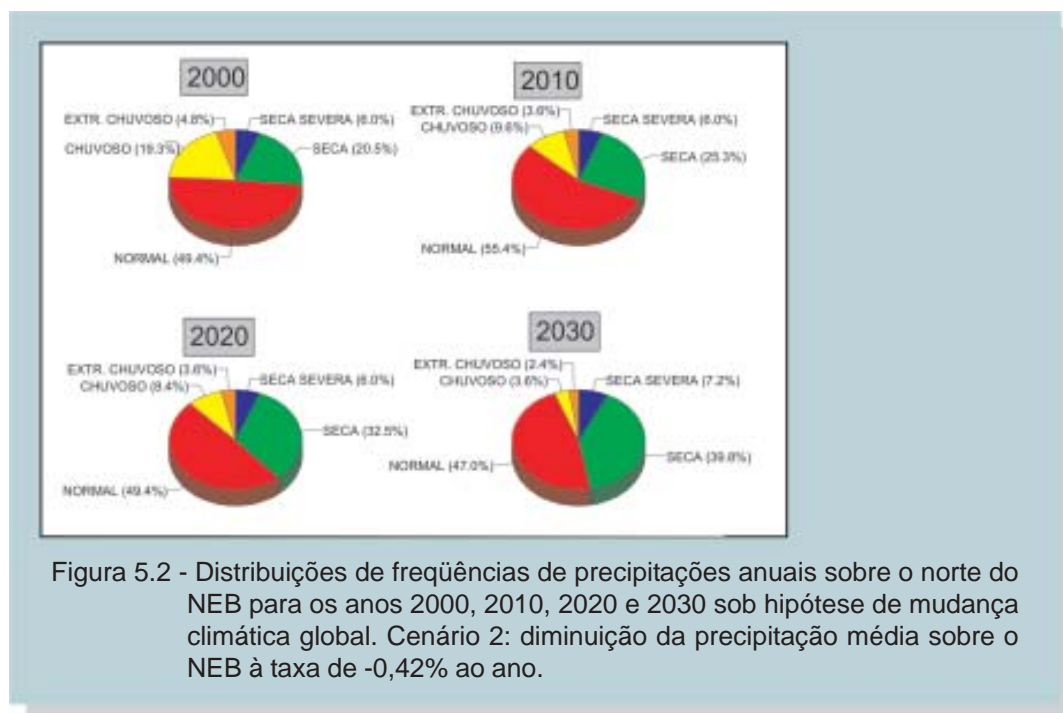


Figura 5.2 - Distribuições de freqüências de precipitações anuais sobre o norte do NEB para os anos 2000, 2010, 2020 e 2030 sob hipótese de mudança climática global. Cenário 2: diminuição da precipitação média sobre o NEB à taxa de -0,42% ao ano.

A mudança mais notável nas distribuições de freqüências de precipitação mostradas na Figura 5.2 é o aumento da freqüência de secas, que praticamente dobra entre os anos 2000 e 2030, passando de aproximadamente 20% para 40%. Este aumento ocorre às custas da diminuição de anos chuvosos e muito chuvosos. É interessante notar, também, que a freqüência de anos com secas extremas permanece praticamente inalterado, assim como o número de anos considerados normais.

Dessa forma, uma diminuição da precipitação pluviométrica média de aproximadamente -0,4% ao ano sobre o NEB, mantidos outros parâmetros como observados atualmente (tais como a variância das precipitações pluviométricas, a temperatura do ar, umidade do solo) levaria a aumentar a freqüência de anos nos quais ocorreriam secas meteorológicas, relativamente ao registro histórico de secas sobre a região.



Os efeitos da mudança das temperatura da superfície do mar

i. Oceano Pacífico

Adicionalmente ao efeito local de diminuição da umidade do solo devido ao aumento da evapotranspiração potencial associado com o aumento da temperatura do ar à superfície; da diminuição do total pluviométrico anual; há indicações de que um aumento das TSM sobre o Pacífico faria aumentar a intensidade do fenômeno El Niño - Oscilação Sul (ENOS), o que, em termos de distribuição da precipitação pluviométrica sobre o Nordeste, equivaleria a um aumento da incidência de secas extremas como as ocorridas em 1983 ou 1992 e 93. Meehl et al. (1992) investigaram as mudanças no fenômeno ENOS sob condições de aquecimento global. Eles acharam que os padrões de anomalias de precipitação tropical e umidade do solo são similares nos casos de controle e de CO₂ dobrada, mas áreas secas se tornam mais secas e áreas úmidas se tornam mais úmidas. Esses resultados preliminares indicam que o aumento da variabilidade pluviométrica devida à mudanças nos eventos ENOS poderia levar a uma incidência de secas ainda maior do que aquela devida somente ao aumento médio da temperatura do ar e da diminuição da precipitação. Contudo, as mudanças da frequência de secas como sugerido aqui ainda precisam ser confirmadas com o uso de outros modelos acoplados oceano-atmosfera. As indicações do efeito do aumento das TSM sobre o Pacífico na ocorrência de secas severas sobre o Nordeste são ainda especulativas.

ii Oceano Atlântico

Para se ter uma idéia mais precisa sobre o efeito do aumento da temperatura das correntes oceânicas na distribuição de chuvas sobre o Nordeste, é preciso avaliar o efeito de aquecimento das TSM sobre o Atlântico na distribuição das chuvas sobre o Nordeste. O conhecimento atual sobre os mecanismos responsáveis pela formação de anomalias de TSM sobre o Atlântico Tropical é precário, sendo necessário um grande esforço observacional e de modelagem antes que se possa inferir os efeitos de um aquecimento global do ar sobre o comportamento térmico do Atlântico Tropical. Contudo, com base nos cenários de aquecimento dos continentes superior ao dos oceanos, e considerando que a massa continental sobre o Hemisfério Norte é maior do que aquela sobre o Hemisfério Sul, é possível que o Atlântico Norte venha a se aquecer mais rapidamente do que o Atlântico Sul. Isto viria favorecer que a zona de convergência intertropical sobre o Atlântico viesse se localizar em média mais ao norte relativamente ao seu posicionamento climatológico atual, o que equivaleria a um drástico aumento da frequência de secas sobre o semi-árido do Nordeste. Os

estados mais atingidos no caso de um cenário com o Atlântico Norte mais aquecido do que o Atlântico Sul seriam aqueles cujo máximo anual de precipitação se concentra nos meses de fevereiro a maio (leste do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, sertões da Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e norte da Bahia).

Já o litoral leste do Nordeste, que recebe a maior parte de seu total anual de chuvas proveniente de sistemas convectivos rasos, por sua vez positivamente correlacionados com anomalias de TSM sobre o Atlântico Sul, poderia vir a apresentar problemas agravados de inundações se de fato se observar o aquecimento do Atlântico Sul e aumento da intensidade de precipitações cumuliformes, conforme sugerido pelo relatório final do IPCC (Houghton et al., 1990, IPCC).

Sumário

Até a presente data, ainda não existem estudos de simulação numérica sobre mudança climática regional para a Região Nordeste do Brasil. Também, os resultados de simulações numéricas utilizando modelos de circulação geral da atmosfera para prognosticar as conseqüências do aumento de gases de efeito estufa na atmosfera para o clima da Terra ainda não permitem prognosticar de forma precisa os efeitos regionais da mudança climática. Contudo, é possível especular que os efeitos combinados do possível:

- i. aumento da temperatura do ar à superfície,
- ii. aumento da intensidade do fenômeno ENOS sobre o Pacífico,
- iii. aumento da variabilidade interanual de precipitação pluviométrica sobre os trópicos,

sejam os de:

- i. aumentar a área sujeita a secas freqüentes sobre o NEB, tornando mais estreitas as zonas de transição entre o semi-árido e o regime de chuvas amazônico a oeste do Piauí e o da zona da mata sobre a costa leste do Nordeste;
- ii. aumentar a freqüência de secas extremas sobre todo o NEB;
- iii. aumentar a freqüência de inundações associadas a chuvas convectivas intensas.

Além disso, os exercícios de simulação estatística das distribuições de freqüências da pluviometria sobre o NEB, devido à diminuição da precipitação média anual sobre o NEB realizados no presente estudo sugerem um forte aumento da freqüência de anos de secas, mas não de secas extremas. Contudo, a respeito das especulações feitas nesta secção, é preciso ter em mente que atualmente não é possível identificar de modo inequívoco as partes do globo que apresentarão um aumento da freqüência, intensida-





de, duração e localização de secas. Além disso, e como sugerido na seção 1.4 desse artigo, é provável que no espaço de tempo de dez a vinte anos, os efeitos da degradação ambiental decorrentes do aumento populacional local, entre outros, tenha um impacto mais fortemente negativo na sustentabilidade do desenvolvimento regional do que aquele devido à mudança climática associada ao aquecimento troposférico induzido pelo acúmulo de gases de efeito estufa na atmosfera.

De qualquer forma, dado que ambos fatores, o do aumento da variabilidade interanual do regime de chuvas sobre o NEB e a diminuição da umidade do solo decorrente do aumento da temperatura do ar e diminuição da cobertura vegetal, corroboram o cenário de mudança climática que indica um aumento da frequência de secas (meteorológicas e agrícolas) sobre a região, há maiores chances de que este venha a se confirmar, do que a hipótese oposta, qual seja a de um clima mais estável com distribuição mais homogênea das precipitações e diminuição da frequência de secas sobre o NEB.

Além disso, existem ações que podem ser tomadas pela sociedade no presente para aumentar sua capacidade de adaptação às secas que ocorrem no regime climático atual, as quais também serão de valor na mitigação dos efeitos de secas possivelmente relacionadas com mudança climática no futuro (Glantz e Degefu, 1992).

1.6 Os métodos para a previsão de secas

Há três classes básicas de métodos para a previsão de secas sobre o Nordeste: os métodos estatísticos, os métodos dinâmico-estatísticos e os numéricos. Os primeiros utilizam características puramente estatísticas de séries temporais para prever secas com vários anos de antecedência. Os métodos dinâmico-estatísticos usam tanto técnicas estatísticas como modelos conceituais de interação entre o oceano e a atmosfera, enquanto os métodos numéricos utilizam modelos de circulação geral da atmosfera e dos oceanos. Os dois últimos tentam prever anomalias pluviométricas com alguns meses de antecedência.

Métodos Estatísticos

Os métodos estatísticos são baseados na existência de periodicidades aparentes na série temporal de precipitação de Fortaleza e pretendem prever secas com vários anos de antecedência extrapolando tais periodicidades no futuro. Este tipo de metodologia foi utilizada no passado pelo Centro Tecnológico da Aeronáutica (CTA) em São José dos Campos, SP, para prever a "grande seca de 1979 a 1985", que de fato não ocorreu durante todos os anos previstos. Apesar das precipitações terem sido abaixo da média

entre 1979 e 1983, com alguns anos próximos à média climatológica, 1984 e principalmente 1985 apresentaram expressivos desvios positivos de precipitação com enchentes generalizadas, como as ocorridas em 1974 e 1964. Assim, embora as séries temporais de precipitação sobre Fortaleza apresentem freqüências de baixo período, na escala de tempo interdecadal, não é fisicamente plausível e estatisticamente justificável sua mera extrapolação no futuro, uma vez que isto implica assumir a estacionariedade da série temporal de precipitação. Além disso, Nobre et al. (1984) mostraram que as periodicidades aparentes na série de precipitação de Fortaleza não são estatisticamente significativas. A confiabilidade nos prognósticos de métodos estatísticos para prever anomalias pluviométricas anuais sobre o Nordeste com vários anos de antecedência é baixa.

Métodos dinâmicos

Esta classe de métodos tenta prever anomalias pluviométricas sobre a Região Nordeste com alguns meses de antecedência e envolve o conhecimento sobre os mecanismos de interação entre os oceanos e a atmosfera causadores de chuva sobre a região. Estudos recentes mostraram que anomalias pluviométricas sobre o semi-árido nordestino são fortemente moduladas por anomalias de temperatura da superfície do mar (TSM) sobre os Oceanos Pacífico Equatorial e Atlântico Tropical (Moura e Shukla, 1981; Hastenrath, 1990; Ward e Folland, 1991; Nobre e Shukla, 1994). Presentemente há vários modelos prognósticos que se baseiam nas relações causais entre TSM, ventos, pressão ao nível do mar (PNM) com anomalias pluviométricas sobre o NEB. Dentre os métodos hoje aplicados operacionalmente para prever a qualidade da estação chuvosa sobre o norte do NEB estão:

1. University of Wisconsin: Hastenrath (1990) utiliza a precipitação durante a pré-estação (novembro a fevereiro) sobre o norte do NEB, ventos à superfície sobre o Atlântico equatorial e TSM sobre o Atlântico tropical para prever anomalias pluviométrica sobre o NEB em cinco classes: muito seco, seco, normal, chuvoso e muito chuvoso. Este método normalmente fornece um prognóstico tendencial em meados de fevereiro e o prognóstico final em meados de março.
2. Hadley Centre: Ward e Folland (1991) empregam a técnica de componentes principais (também conhecida por EOF - Funções Ortogonais Empíricas) e utilizam os campos de TSM globais para prever anomalias de precipitação sobre o norte do Nordeste durante março-abril-maio. A técnica consiste de projetar o campo de anomalias de TSM sobre o Pacífico Equatorial e Atlântico Tropical observado durante janeiro e fevereiro sobre os autovetores de TSM previamente calculados para estimar por meio de uma equação de regressão as probabilidades de ocorrência de cada uma das clas-



ses de anomalias de precipitação: muito seco, seco, normal, chuvoso, muito chuvoso. Previsões são disponíveis no início de fevereiro e de março.

3. CPTEC/INPE: Utiliza um método conceitual, no qual os campos atmosféricos e oceânicos de grande escala associados com o regime pluviométrico sobre o norte do Nordeste são analisados subjetivamente por uma equipe de meteorologistas, os quais fazem suas análises independentemente e as discutem em reuniões mensais a partir de outubro de cada ano. As previsões são emitidas na primeira semana de janeiro, de fevereiro e de março sendo acompanhadas mensalmente até agosto. Previsões são categóricas, sendo indicado a categoria ou intervalo de categorias (muito seco, seco, normal, chuvoso, muito chuvoso) na qual a estação chuvosa de fevereiro a maio sobre todo o norte do Nordeste deverá se enquadrar.

Métodos numéricos

A mais recente e promissora classe de métodos de previsão utiliza modelos de circulação geral da atmosfera (MCGA) para prever anomalias pluviométricas sobre o Nordeste com dois a três meses de antecedência. A grande vantagem desse método reside na possibilidade de se prever ambos o desvio pluviométrico em milímetros e sua distribuição espacial.

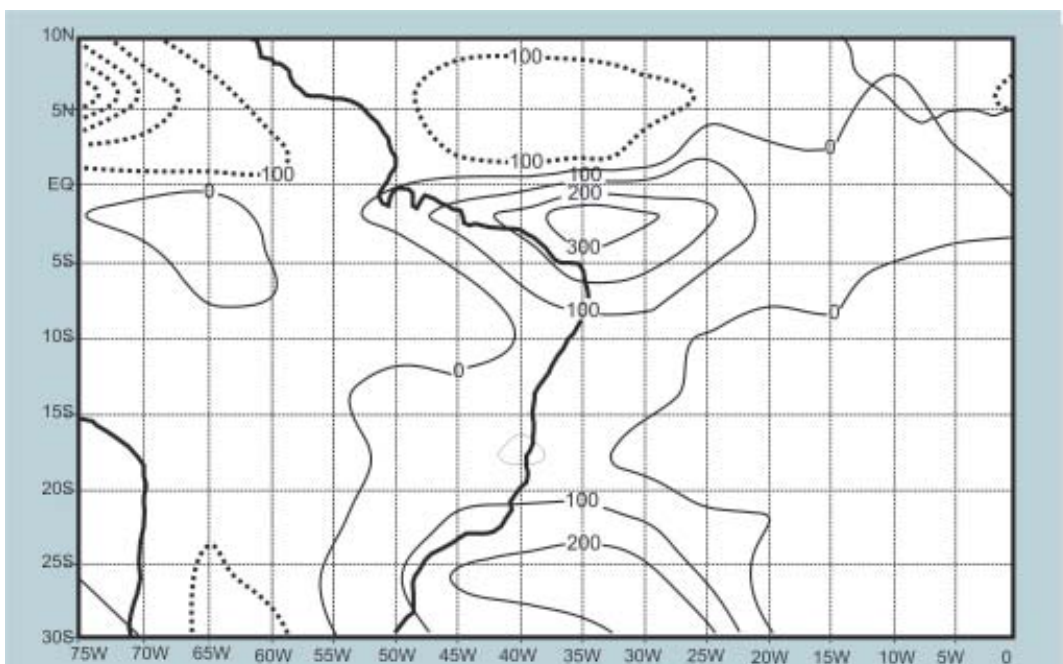


Figura 6.1: Previsão de anomalias pluviométricas para MAM de 1994 realizada com o modelo de circulação geral da atmosfera do COLA/CPTEC usando as condições das TSM globais de fevereiro de 1994. Isolinhas em milímetros para o total acumulado dos desvios para MAM.

Os primeiros resultados de previsão utilizando este tipo de ferramenta foram obtidos no Scripps Institution of Oceanography, nos EUA, e no Center for Ocean Land Atmosphere Studies (COLA). Para o experimento realizado no COLA utilizou-se o MCGA que será usado pelo CPTEC para a geração operacional de previsões climáticas sobre a América do Sul, e que é referido neste artigo como COLA/CPTEC. Em ambos os casos, integrou-se os respectivos MCGAs por seis meses englobando o período mais chuvoso sobre o norte do Nordeste (MAM). A Figura 6.1 mostra a previsão de anomalias pluviométricas para MAM de 1994 gerada pelo modelo do COLA/CPTEC. Pode-se observar nessa figura que o modelo previra um deslocamento da zona de convergência intertropical (ZCIT) para o sul sobre o Atlântico Ocidental, e conseqüentemente desvios positivos de precipitação sobre o Nordeste. O prognóstico do COLA/CPTEC previra desvios de 100 a 200 mm sobre a costa norte do Nordeste e desvios negativos em sua porção central. O prognóstico gerado pelo modelo do SCRIPPS (figura não está sendo mostrada) para o mesmo período apresentou um padrão de deslocamento da ZCIT similar ao do COLA/CPTEC, mas apresentou um padrão espacial com anomalias positivas na parte central do Nordeste.

A Figura 6.2 mostra os desvios observados de precipitação sobre o Nordeste para o mesmo período da previsão mostrada na Figura 6.1. É notável a semelhança entre os campos previstos e observados, tanto para a distribuição espacial quanto para suas magnitudes. Embora a estrutura espacial mais detalhada do campo observado de anomalias pluviométricas não tenha sido prevista com exatidão, o que é uma decorrência da baixa resolução espacial do modelo utilizado, a previsão do COLA/CPTEC apresentou uma surpreendente semelhança com o campo observado.

Os resultados de previsão numérica de anomalias pluviométricas sazonais obtidos pelos modelos do COLA/CPTEC e do SCRIPPS são bastante encorajadores, princi-

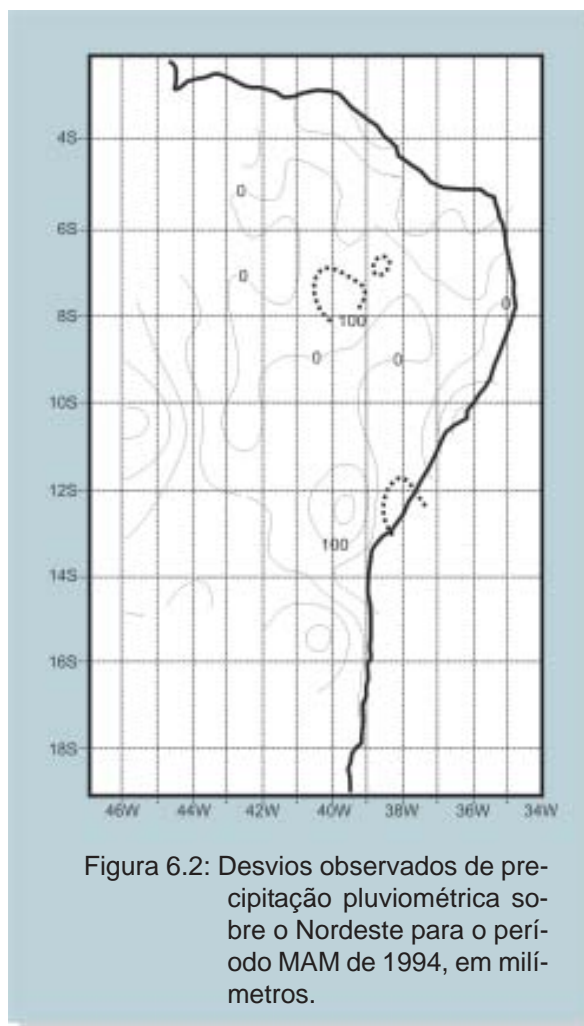


Figura 6.2: Desvios observados de precipitação pluviométrica sobre o Nordeste para o período MAM de 1994, em milímetros.



palmente se considerando que num futuro próximo o CPTEC estará integrando seu modelo com mais alta resolução espacial e numa segunda etapa também estará utilizando modelos de área limitada com alta resolução espacial sobre o Nordeste em conjunto com o modelo global. Previsões mais precisas da evolução dos padrões de anomalias de TSM sobre os oceanos tropicais, em particular sobre o Atlântico Tropical desempenharão um papel importante na melhoria das previsões sazonais de anomalias pluviométricas sobre o NEB.

Dentro da classe de modelagem numérica também há os modelos acoplados oceano-atmosfera, que ainda se encontram em estado embrionário de desenvolvimento, mas que acenam com um horizonte de previsões de anomalias climáticas globais, com antecedência de anos para os Trópicos e meses para os Extra-Trópicos.

Como fora indicado na seção 1.3 deste artigo, a previsibilidade de anomalias pluviométricas sazonais sobre o Nordeste se deve ao caráter predominante do efeito das TSM no comportamento dos fenômenos causadores de chuva sobre a região. Assim, a confiabilidade de uma previsão de anomalias sazonais de precipitação sobre o Nordeste será tanto maior quanto melhores forem as previsões das anomalias de TSM sobre os oceanos tropicais (Ward e Folland, 1991). De modo prático, a questão da confiabilidade das previsões pode ser reduzida se seus percentuais de acerto. De um modo geral, os métodos dinâmico-estatísticos, que utilizam métodos estatísticos para incorporar o conhecimento da dinâmica da atmosfera tropical para elaboração dos referidos prognósticos apresentam percentuais similares de acerto. Por Exemplo, o CPTEC clama ter acertado cerca de 80% de suas previsões desde 1984, quando iniciou as atividades de prognosticar anomalias sazonais de chuvas sobre o Nordeste. Hastenrath clama um índice de acerto similar. Contudo, é importante notar que nenhum desses métodos garante 100% de acerto. Assim, Hastenrath previu que 1989 e 1993 seriam anos muito secos. Errou em 1989, que fora chuvoso, mas acertou 1993. Já o CPTEC preverá um ano chuvoso em 1989 e normal a seco em 1993: acertou o primeiro e errou o segundo, que fora muito seco.

O que é importante ressaltar disso, entretanto, é que independentemente do método utilizado (a utilização de modelagem numérica na escala sazonal ainda é muito recente para se avaliar seu percentual de acerto) a cada novo ano há a possibilidade de que uma previsão esteja em erro. Porém, como os índices de acerto das previsões com antecedência de alguns meses têm sido superiores a 50%, é mais vantajoso utilizar tais prognósticos nos processos de tomada de decisão que são afetados pela variabilidade interanual da precipitação pluviométrica sobre a região, do que ignorá-los.

A operacionalização dos métodos numéricos de previsão da distribuição espacial das anomalias pluviométricas sobre o Nordeste, ora em curso no CPTEC, prometem um novo horizonte de utilidade para a informação

climática nos processos de tomada de decisão para o desenvolvimento sustentado da região.

1.7 As políticas governamentais para o monitoramento do clima no Nordeste e sua eficácia.

A política de "combate à seca"

A problemática da seca sobre o Nordeste já recebe atenção do Governo desde a época do Império. O açude Cedro I (antigo Quixadá) foi construído entre os anos de 1884 e 1890 em decorrência da grande seca de 1877-79 (SUDENE, 1981). Ações visando diminuir os flagelos associados com as secas se materializaram no passado com a criação de órgãos federais com âmbito de atuação sobre o Nordeste, tais como o Departamento Nacional de Obras Contra as Secas - DNOCS - e a Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste - SUDENE -. Estes órgãos adotaram o que Carvalho (1988) chamou de soluções de engenharia para o problema da seca: instrumentando a região para medidas pluvio-fluvio-linimétricas, perfurando poços profundos e construindo grande número de açudes para armazenagem de águas e perenização de rios. Contudo, apesar dessas atividades passadas terem trazido benefícios para a região na forma de infra-estrutura hídrica e viária, e pelas longas séries históricas de precipitação obtidas pela densa rede de postos pluviométricos implantada e operada por longo período pela SUDENE, tais ações se mostraram inefetivas para reverter o quadro de miséria e conturbação social associados com a ocorrência de secas.

Também atuando ao longo da linha de "combate à seca", o Governo do Estado do Ceará investiu por vários anos, e ainda investe, num programa de nucleação artificial de nuvens operacionalizado pela Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos - FUNCEME. Essa atividade operacional da FUNCEME pretende aumentar a quantidade de chuvas sobre o Estado durante o período chuvoso. Contudo, apesar da atividade operacional de nucleação artificial da FUNCEME já durar mais de dez anos, ainda não há números que demonstrem a eficácia desse processo para aumentar o volume de chuvas sobre a região. Dessa forma, não é claro que a nucleação artificial de nuvens possa minorar, muito menos reverter, as condições adversas de abastecimento de água e da produção agrícola associados às secas. Ao contrário, e como sugerido por Carvalho (1988), mesmo que esse processo efetivamente proporcionasse um aumento da precipitação da ordem de 20% (embora estudos da Organização Meteorológica Mundial - OMM - indiquem que provavelmente tal acréscimo, se existir, deva ser inferior a 10% da quantidade de chuva natural (Howell, 1960)), ainda assim o acréscimo seria insuficiente para solucionar o problema das secas sobre o Nordeste, onde os totais pluviométricos anuais são inferiores a 800 mm.





O monitoramento e previsão climática

O monitoramento e previsão do clima constitui uma ferramenta alternativa para viabilizar o estabelecimento de atividades produtivas primárias no semi-árido nordestino, mesmo em anos de seca.

O esforço de monitoramento climático do Nordeste, como vem sendo feito atualmente, teve início no INPE ao final de 1983 com a publicação mensal do Boletim de Monitoramento do Clima do Nordeste. Posteriormente as atividades de monitoramento climático do INPE se estenderam para todo o Brasil e o boletim de monitoramento climático (então elaborado e publicado pelo CPTEC/INPE em colaboração com o Instituto Nacional de Meteorologia - INMET) passou a se chamar Climanálise. Em 1988 também a FUNCEME passou a monitorar as variáveis atmosféricas e oceânicas globais que afetam a distribuição de chuvas sobre o Nordeste, publicando o Boletim de Monitoramento Climático Monitor Climático.

Os resultados das atividades de monitoramento e previsão de anomalias climáticas sobre o Nordeste em anos recentes têm se mostrado como insumos de grande valor para o planejamento estratégico visando minimizar as perdas de produção agrícola normalmente associadas à ocorrência de seca e maximizar os ganhos em anos com precipitações em torno ou acima da normal.

O monitoramento climático hoje no Nordeste

Como resultado da iniciativa do Governo Federal, através do Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT) de fomentar o monitoramento do clima e dos recursos hídricos sobre o NEB, foram criados núcleos estaduais de meteorologia e recursos hídricos em cada um dos Estados do NEB. Para tanto, se tomou como base a experiência da FUNCEME, que vinha trabalhando conjuntamente com o INPE no estabelecimento de um laboratório de estudos climáticos no Ceará. O crescimento da atividade de monitoramento climático na FUNCEME estava baseado fortemente no estabelecimento de uma base de informática e eletrônica, para automatizar as atividades de coleta e armazenagem de dados convencionais e de satélites meteorológicos. A equipe de meteorologistas tinha a incumbência da análise dos dados coletados e, interagindo com meteorologistas de outras instituições no Brasil e no Exterior, elaborarem boletins diários, decendiais e mensais das condições do tempo e do clima sobre o Estado.

Hoje, cada Estado do NEB conta com um núcleo estadual de meteorologia e recursos hídricos. Os núcleos dispõem de equipamentos de computação e de recepção de imagens de satélite adquiridos pelo MCT e contaram, durante três anos, com bolsas RHAE do CNPq para fixar recursos humanos com forte bagagem acadêmica em Meteorologia e Recursos

Hídricos nos estados participantes. Pode-se dizer, com segurança, que o estabelecimento dos núcleos representou fator de grande importância para um futuro uso da informação meteorológica e hidrológica no fomento ao desenvolvimento sustentado do Nordeste. Contudo, e como é natural, o grau de consolidação e operacionalidade de cada Núcleo se diferenciou ao longo dos três anos de existência do projeto, estando relacionado, entre outros, ao apoio financeiro proporcionado por cada Estado.

A avaliação das causas que levaram cada núcleo a um grau diferente de operacionalidade é uma tarefa complexa, que está fora do escopo desse trabalho. Contudo, alguns pontos podem ser apontados que certamente contribuíram para restringir um maior crescimento dos mesmos. Como primeiro, e já mencionado acima, a falta de apoio financeiro oferecido por alguns Governos Estaduais para custeio da operação; o segundo, que está associado ao primeiro e que na prática veio se configurar como uma grande dificuldade operacional é o sistema de telecomunicações que os interligam, o qual tem tarifação proporcional ao volume de dados transmitidos e tempo de uso da rede. A escolha do sistema de telecomunicações baseado na filosofia "paga quanto usa", aliado aos escassos recursos financeiros que contavam vários núcleos, representou e ainda representa em alguns casos um forte desestímulo para o uso de telecomunicações. Isto colocou-os em estado de semi-isolamento, restringindo o acesso aos dados e informações necessárias para a geração de produtos meteorológicos de modo operacional. Assim, a falta de comunicações entre os núcleos representou o simples mecanismo mais eficaz para impedir um maior desenvolvimento dos mesmos.

O uso da informação hidro-meteorológica no Ceará

A seguir se tecem algumas considerações sobre as atividades de monitoramento e previsão climática sobre o Ceará e seus impactos nas práticas de planejamento do estado.

Desde o início das atividades de monitoramento climático da FUNCEME, acesso às informações teve máxima prioridade; tanto para a coleta da pluviometria diária sobre o estado quanto para a recepção de imagens de satélite e de dados atmosféricos e oceânicos globais provenientes do Serviço Nacional de Meteorologia Americano (NMC) em Washington, EUA. Com isso a FUNCEME dispunha da informação, em tempo quase-real, necessária para orientar o Governo do Estado em suas ações de planejamento.

A partir de 1988, a FUNCEME, em cooperação com o INPE/CPTEC, passou a prover ao Governo do Estado do Ceará previsões atualizadas mensalmente sobre a qualidade da quadra chuvosa de fevereiro a maio sobre o Norte do Nordeste como um todo. Essas previsões eram elabora-



das mensalmente a partir de dezembro e consistiam em prognosticar a categoria mais provável (Muito Seco, Seco, Normal, Chuvoso, Muito Chuvoso) na qual se enquadraria a estação chuvosa seguinte sobre o norte do Nordeste.

De posse dessa informação e da indicação fornecida pela FUNCEME das condições propícias de umidade do solo em cada município cearense, o Governo do Estado, através da Secretaria da Agricultura e Ematerce, passou a orientar a distribuição de sementes e os períodos mais apropriados para o plantio. O quadro abaixo ilustra a produção de grãos no Ceará durante três anos de seca e um ano com precipitações em torno da normal.

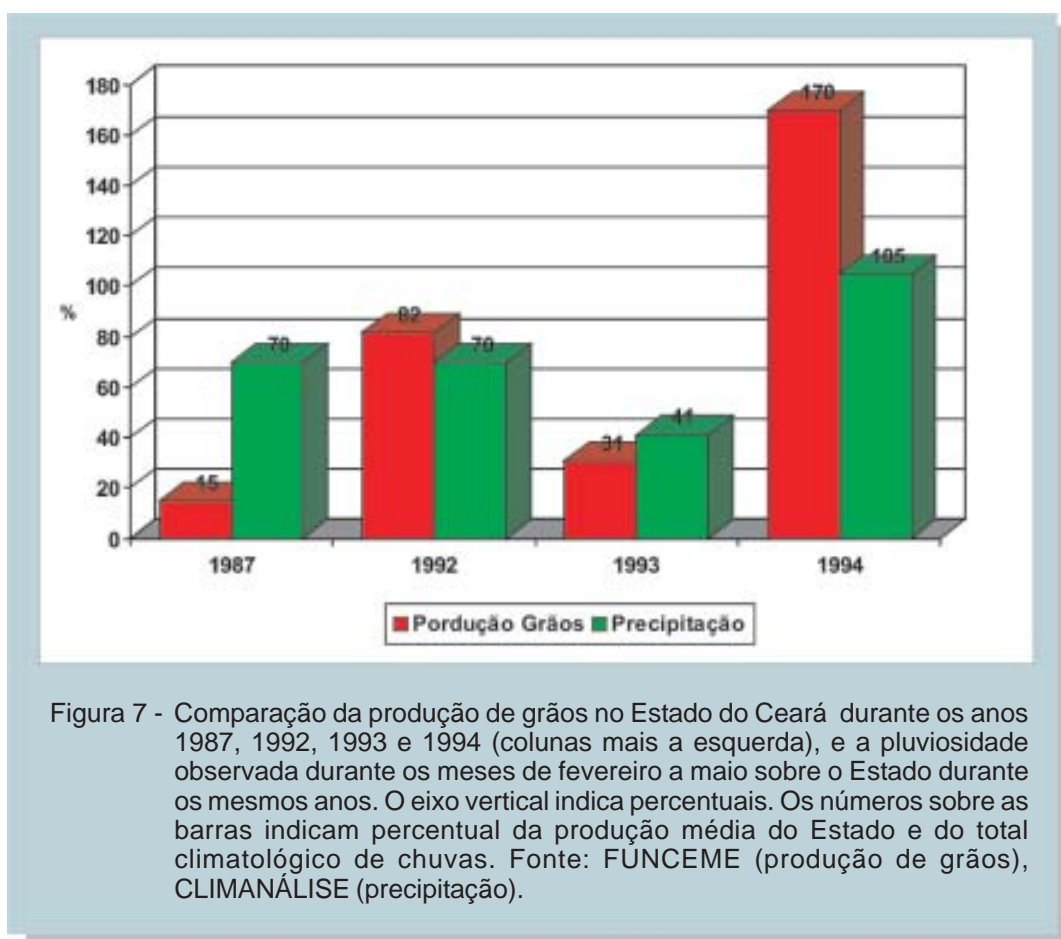


Figura 7 - Comparação da produção de grãos no Estado do Ceará durante os anos 1987, 1992, 1993 e 1994 (colunas mais a esquerda), e a pluviosidade observada durante os meses de fevereiro a maio sobre o Estado durante os mesmos anos. O eixo vertical indica percentuais. Os números sobre as barras indicam percentual da produção média do Estado e do total climatológico de chuvas. Fonte: FUNCEME (produção de grãos), CLIMANÁLISE (precipitação).

Em 1987 o Governo do Ceará ainda não utilizava informações de monitoramento climático em seu planejamento agrícola. Naquele ano as precipitações ficaram aproximadamente 30% abaixo do esperado climatológico, caracterizando um ano moderadamente seco. A safra de grãos daquele ano no Estado do Ceará totalizou 100 mil toneladas, ou seja, aproximadamente 15% da produção média do estado, que é 650 mil toneladas/ano (FUNCEME, 1994, comunicação pessoal).

A partir de 1988 começaram a se estabelecer os mecanismos no Governo do Estado para utilizar a informação climática em seu planejamento. Em 1992 as precipitações sobre o norte do Nordeste foram similares às de 1987, contudo a produção de grãos em 1992 no Ceará foi 530.000 toneladas, representando aproximadamente 82% da produção média do estado.

Em 1993 o Nordeste experimentaria uma de suas maiores secas desse século, tendo recebido somente 41% do total esperado de chuvas. A safra de grãos em 1993 representou o dobro da produção registrada durante o ano moderadamente seco de 1987.

Mas se o contraste entre 1987 e 1992/93 discutidos acima servem para sugerir a importância do uso da informação de monitoramento e previsão climática para minorar as perdas decorrentes da falta de chuvas para culturas de sequeiro, 1994 indica a importância dessa informação para maximizar a produção durante anos nos quais não há carência de chuvas sobre o Estado (e esses correspondem a aproximadamente 75% dos anos). A distribuição das chuvas sobre o norte do Nordeste durante 1994 foi normal. O desvio dos totais pluviométricos durante os meses de fevereiro a maio para a região como um todo foi somente 5% acima da média. No entanto, a safra prevista de 1.100 mil toneladas de grãos para 1994 no Ceará representa um recorde de produção, equivalendo a aproximadamente 170% da produção média do Estado.

É importante ressaltar, contudo, que o monitoramento e previsão climática sozinhos não têm a capacidade de "solucionar" o problema das secas, mas sim de diagnosticá-las e prevê-las. Somente quando utilizadas em conjunto com medidas de planejamento agrícola e dos usos dos recursos hídricos é que aquelas possibilitam minorar os prejuízos associados com secas, ou mesmo potencializar a produção de grãos em anos considerados "normais", como foi o caso de 1994.

Sumário

A experiência do Ceará sugere o grande potencial das informações de monitoramento e previsão climática para efetivamente reverter um quadro histórico de baixa produtividade agrícola associado às variações interanuais e espaciais da distribuição de chuvas sobre o Nordeste. A utilização das informações de monitoramento e previsão climática no planejamento estadual demonstra que a disponibilização dessas informações em tempo real e sua utilização pelos setores produtivos podem representar uma forma extremamente eficaz para viabilizar um crescimento econômico sustentável para a região, aumentando a convivência do homem com o clima semi-árido do Nordeste.





No entanto, e apesar do investimento realizado pelo Governo Federal através do MCT na aquisição de equipamentos computacionais e na disponibilização temporária de especialistas em cada Estado do Nordeste, existem aspectos estruturais e de falta de envolvimento dos Estados no programa de monitoramento do clima e dos recursos hídricos sobre a Região Nordeste, que têm limitado o nível e o número dos produtos gerados operacionalmente e que cheguem às mãos dos usuários em tempo real.

Ainda não se atingiu um grau de qualidade e continuidade de produtos de monitoramento climático em todos os estados, que forneçam ao Governo e à sociedade os insumos necessários para auxiliarem nos processos de planejamento e tomada de decisão. Esses produtos, quando utilizados, trazem a possibilidade de tornarem a componente clima do Nordeste num fator de vantagem competitiva em relação a outras regiões do Brasil e do planeta onde o clima, a despeito de oferecer uma distribuição mais regular das precipitações pluviométricas, não permite um grau de previsibilidade tão longo (alguns meses) como sobre o Nordeste do Brasil.

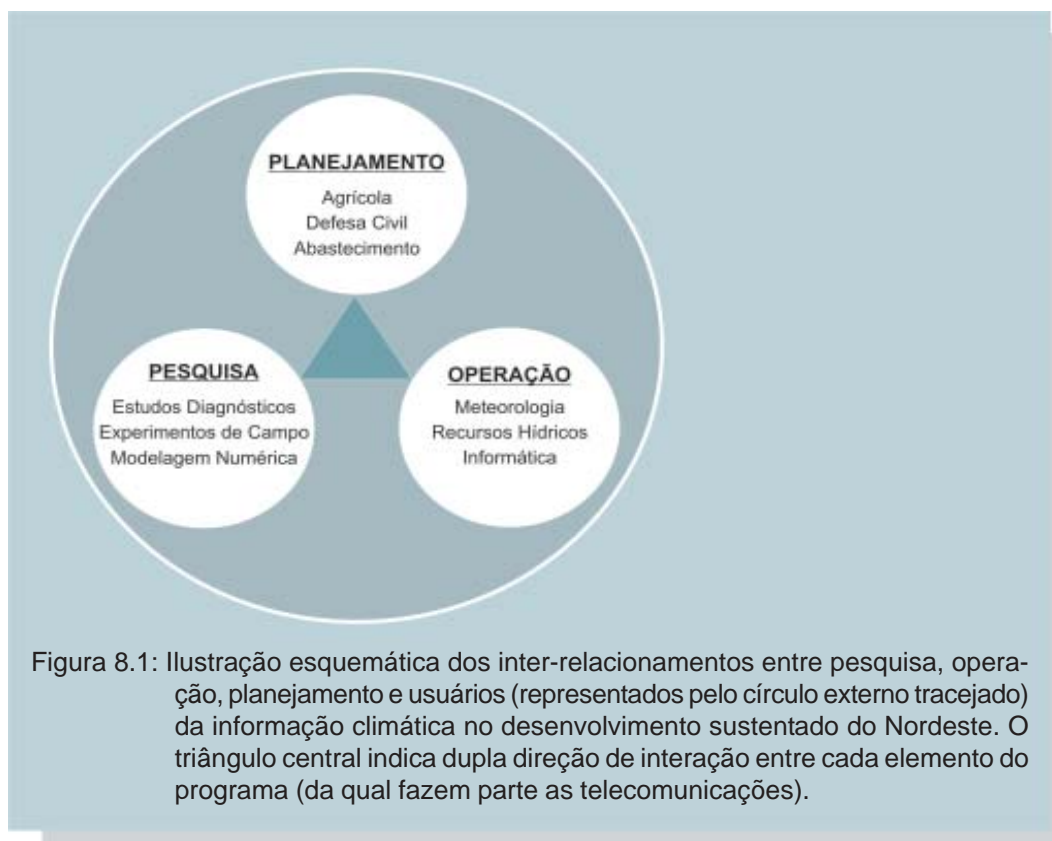
1.8 Programas para um eficaz monitoramento do clima

Dentre os conceitos mais importantes para o desenvolvimento sustentável do Nordeste, no que concerne à informação meteorológica e ao monitoramento climático, estão os conceitos de tempo real e vontade política. O primeiro é imprescindível para que as informações estejam à disposição dos tomadores de decisão em tempo para serem utilizadas na orientação dos processos de planejamento. A segunda é necessária para que a informação meteorológica seja incorporada nos processos de tomada de decisão do Governo e do meio produtor. Sem um, ou sem outra, o produto final é identicamente nulo em termos de elemento alavancador do desenvolvimento regional.

Outros fatores agem modulando a efetividade da informação climática para o desenvolvimento sustentável do Nordeste. Entre esses fatores moduladores estão a qualidade da informação climática, sua área de abrangência, resolução espacial, frequência de informativos, assim como naturalmente a porcentagem de acerto dos prognósticos climáticos. Os benefícios do uso da informação climática no planejamento e execução de práticas agrícolas são maximizados com a melhoria de cada um desses fatores. Contudo, é preciso ressaltar, já hoje existe uma margem de ganho no uso dessas informações, como sugerido pelo exemplo com o Estado do Ceará. As informações do monitoramento e previsão climática podem desempenhar papel decisivo no aumento da produtividade agrícola no semi-árido nordestino, quando utilizadas pelos meios produtores na orientação de suas práticas agrícolas.

Portanto, para que as informações de monitoramento e previsão climática tenham um impacto na economia e na sociedade, é necessário que essas estejam disponíveis aos tomadores de decisão em tempo e numa forma a eles facilmente assimiláveis. Não basta se estabelecer uma densa rede de estações para coleta de dados, como o fizera a SUDENE nos primórdios de sua atuação. É imprescindível que os dados obtidos nas redes de observações meteorológicas e hidrológicas sejam transformados em informação (diagnósticos em tempo real do estado presente da atmosfera e prognósticos de sua evolução futura) e esta seja disponibilizada ao usuário. Somente em percorrendo todo esse percurso, até ser utilizada com proveito no planejamento das atividades por ela afetadas é que a informação oriunda do monitoramento e previsão climática adquire um papel relevante no desenvolvimento regional e Nacional.

Com o início das operações do Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos - CPTEC vinculado ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE do Ministério da Ciência e Tecnologia - MCT, prevista para meados de novembro de 1994, o volume de produtos de previsões do tempo e do clima para o Nordeste chegarão a patamares nunca antes alcançados. Contudo, a tradução dessas previsões em ganhos de produtividade para a região requererão instrumental e especialistas nos Estados, que interpretem tais produtos de previsão e os regionalize, adequando-os às necessidades dos usuários locais.





Contudo, para que os produtos regionalizados cheguem rapidamente às mãos dos usuários, se sugere a distribuição dos produtos de monitoramento e previsão climáticas por meios digitais, acessáveis por meio de equipamentos de facsímile ou computadores, via linhas telefônicas discadas ou de redes de computadores interligados entre si. Usuários, como a defesa civil, que necessitem da informação de fenômenos extremos em tempo real 24 horas por dia, podem ser ligados via linha telefônica dedicada com os centros difusores da informação do monitoramento hidrometeorológico.

Para que a informação do monitoramento climático passe a integrar as tabelas de decisão dos meios produtivos da Região, é preciso conceber um amplo programa de investimentos no setor de telecomunicações, pesquisa meteorológica e hidrológica, treinamento e geração operacional de produtos de monitoramento e previsão climática sobre a região. Entretanto, para que um tal programa venha promover de fato o desenvolvimento sustentado do Nordeste, é preciso que este seja continuamente retro-alimentado e direcionado pelo setor produtivo da sociedade, de forma a se formar um tripé entre a pesquisa a operação e os usuários (Figura 8.1).

Entretanto, nenhum braço desse programa (pesquisa, operação ou planejamento), sozinho, poderá cumprir a finalidade de promover o desenvolvimento sustentado no Nordeste. Além disso, a utilização das informações climáticas para orientar processos de tomada de decisão representa somente uma parte do processo de desenvolvimento sustentável da região. Sem que haja um crescimento harmônico também nos setores de educação, saúde, alimentação e tecnologia, sem mencionar a questão da estrutura agrária e do acesso à água no Nordeste, é difícil conceber uma sociedade nordestina próspera.

Retornando ao objetivo específico desse artigo, contudo, é preciso ressaltar que os investimentos necessários para o estabelecimento de uma infra-estrutura capaz de gerar informações hidrometeorológicas úteis nos processos de tomada de decisão precisam ser direcionadas rigorosamente no sentido de atenderem aos usuários finais da informação. Um programa que venha ser idealizado nesse sentido precisa ser executado como um todo, cujo sucesso seja medido pelo grau no qual os dados coletados em campo cheguem às mãos dos tomadores de decisão na forma de informações gerenciais. Além disso, a participação ativa dos Estados é condição imprescindível para o sucesso desse tipo de empreendimento, embora naturalmente não represente condição suficiente para seu sucesso. É necessário o envolvimento dos Estados e do Governo Federal em ações complementares visando a implementação e operação de um programa operacional de geração de informações meteorológicas e hidrológicas sobre a região. A ausência dessa integração de ações, ou seu descompasso, pode comprometer todo o esforço para a concepção e implantação do programa. O pro-

grama do Ministério da Ciência e Tecnologia para o monitoramento do clima e dos recursos hídricos sobre os Estados do Brasil ilustra esse ponto: Não obstante ter levado aos Estados do Nordeste equipamentos computacionais modernos e bolsistas especialistas nas áreas de Meteorologia e Recursos Hídricos, os núcleos estaduais de meteorologia e recursos hídricos ainda enfrentam dificuldades operacionais que dificultam e em muitos casos impedem gerar informações climáticas gerenciais para os Estados e sociedade.

Em resumo, as informações de monitoramento climático podem desempenhar papel de fundamental importância para o desenvolvimento sustentado do Nordeste. Para que tal ocorra, é necessário investir continuada e sistematicamente num programa de monitoramento e previsão climática voltado para gerar subsídios para os processos de tomada de decisão na sociedade, principalmente aquelas ligadas ao setor primário da economia e a defesa civil. Tal programa necessita contemplar desde a instalação de equipamentos telemétricos no campo para medição de variáveis hidrometeorológicas (e.g., precipitação, temperatura, umidade) em tempo real, até a distribuição da informação talhada aos diversos usos na sociedade. São listados abaixo os tópicos principais de um programa para o monitoramento climático sobre o Nordeste para fomentar o seu desenvolvimento sustentado.

- a) Financiamento de programas de pesquisa que aumentem o conhecimento sobre os processos físicos causadores do clima e de sua variabilidade temporal e espacial sobre o Nordeste;
- b) Estabelecimento de infra-estrutura básica de telecomunicações regional, com canais de alta velocidade para transmissão de dados, imagens e informações, interligados entre si e com as demais regiões do País e no Exterior;
- c) Implantação de rede telemétrica para coleta de dados hidrometeorológicos (precipitação pluviométricas, umidade do ar e do solo, ventos e temperatura à superfície e em altos níveis) sobre os Estados do Nordeste;
- d) Emprego de especialistas em Meteorologia, Recursos Hídricos e Informática para operar os órgãos geradores da informação hidrometeorológica, 365 dias ao ano.
- e) Treinamento e formação de recursos humanos nas áreas afins (Meteorologia, Recursos Hídricos, Sensoriamento Remoto, Computação, Estatística, Matemática Aplicada, Ciências Sociais, Economia) através do fornecimento de bolsas de estudo de curta e longa duração para estudos e treinamento no País e no Exterior.
- f) Intercâmbio de dados via computadores, de tecnologias e experiência entre os Estados e Instituições no Brasil e no Exterior.

Além disso, há outras atividades de caráter operacional e pesquisa cuja execução proporcionariam ferramentas de inestimável valia para a pes-



quisa e para o uso das informações meteorológica, climatológica, hidrológica e ambiental no planejamento e nos foros de tomada de decisão na região. Dentre essas atividades, está a geração de um banco de dados georeferenciado digital sobre a Região, com informações meteorológicas, hidrológicas e de recursos naturais (topografia, hidrografia, tipos e usos de solos, vegetação), assim como com informações censitárias. De fato, a geração de tal acervo de dados em meio magnético e de acesso fácil para pesquisadores e tomadores de decisão representaria um elemento alavancador da pesquisa e da utilização de variáveis climáticas e ambientais de grande valor para o planejamento estratégico dos estados e dos empreendimentos econômicos na região.

Em outras palavras, a geração de tal sistema de informações georeferenciadas representaria um passo de fundamental importância na direção do desenvolvimento sustentado e para a diminuição da vulnerabilidade da economia e sociedade do Nordeste à variabilidade interanual das chuvas sobre a região.







Anexo 1: Lista das localidades sobre o norte do Nordeste do Brasil onde foram utilizados registros de precipitação com seus códigos e coordenadas geográficas.

Código	Localidades (ST)	Latitude (Sul)	Longitude (Oeste)	Altitude (metros)
240007	Acaraú (CE)	2:53	40:07	7
241000	Luiz Correia (PI)	2:53	41:40	10
338001	Fortaleza (CE)	3:46	38:36	26
339018	Irauçuba (CE)	3:44	39:47	190
340028	Sobral (CE)	3:42	40:21	83
341016	V. do Ceará (CE)	3:34	41:05	685
342006	Porto (PI)	3:54	42:43	2
437006	Jaguaruana (CE)	4:50	7:48	15
437012	Areia Branca (RN)	4:57	37:08	5
438010	Baturité (CE)	4:20	38:53	123
440014	Ipueiras (CE)	4:33	40:44	238
440021	Santa Quitéria (CE)	4:20	40:10	190
441005	Pedro II (PI)	4:25	41:28	580
536001	Jardim de Angicos (RN)	5:39	36:00	150
536024	Angicos (RN)	5:40	36:36	09
536028	Pendência (RN)	5:15	36:43	20
537006	Caraúbas (RN)	5:47	37:34	146
537023	Mossoró (RN)	5:12	37:21	15
538000	Morada Nova (CE)	5:06	38:23	50
539001	Mombaça (CE)	5:45	39:38	223
539016	Quixeramobim (CE)	5:13	39:18	212
540020	Cratêus (CE)	5:11	40:40	75
541003	Castelo do Piauí (PI)	5:20	41:34	250
542012	Teresina (PI)	5:05	2:49	72
636005	Florânia (RN)	6:08	36:49	210
636025	Currais Novos (RN)	6:16	36:31	350
637004	Caico (RN)	6:27	37:06	143
637032	Pombal (PB)	6:43	37:49	178
638011	Pereiro (CE)	6:03	38:28	220
638033	Antenor Navarro (PB)	6:44	38:27	240
639014	Assaré (CE)	6:52	9:52	435
639035	Iguatu (CE)	6:22	39:12	213
640018	Tauá (CE)	6:01	40:25	356
641010	Valença do Piauí (PI)	6:24	41:45	295
642001	Amarante (PI)	6:15	42:51	72
643006	Floriano (PI)	6:46	43:01	85
736008	Soledade (PB)	7:04	36:22	560
737002	Teixeira (PB)	7:13	37:16	770
737006	Piancó (PB)	7:12	37:56	250
737014	Monteiro (PB)	7:53	37:07	590

738008	Milagres (CE)	7:19	38:57	371
738017	Itaporanga (PB)	7:18	38:10	230
738032	Triunfo (PE)	7:50	38:07	1010
739006	Crato (CE)	7:15	39:23	421
740006	Campos Sales (CE)	7:04	40:23	551
740021	Ouricuri (PE)	7:53	40:04	432
741006	Picos (PI)	7:05	41:28	195
741010	Simplício Mendes (PI)	7:51	41:55	319
742002	Oeiras (PI)	7:01	42:08	170
836032	Pesqueira (PE)	8:22	36:42	650
837003	Arco Verde (PE)	8:26	37:04	663
837025	Ibimirim (PE)	8:23	37:38	445
838020	Floresta (PE)	8:36	38:35	317
839002	Cabrobó (PE)	8:30	39:19	350
839016	Salgueiro (PE)	8:04	39:07	415
841005	Paulistana (PI)	8:08	41:09	350
937007	Água Branca (AL)	9:17	37:56	605
939014	Uauá (BA)	9:50	39:29	439
940006	Petrolina (PE)	9:23	40:30	376
941012	Sento Sé (BA)	9:40	41:18	380
942016	Remanso (BA)	9:41	42:04	378
1038008	Jeremoabo (BA)	10:04	39:20	489
1039015	Queimadas (BA)	10:58	39:00	377
1040020	Senhor do Bonfim (BA)	10:27	40:11	544
1140002				
1140014	Jacobina (BA)	11:11	40:31	454





Anexo 2: Referência bibliográficas

Aceituno, P., 1988: On the functioning of the Southern Oscillation in the South American sector. Part 1: surface climate. *Mon. Wea. Rev.*, 116, 505-524.

Carvalho, O. D., 1988: A economia política do Nordeste: secas, irrigação e desenvolvimento, Editora Campus, 505 pp.

Glantz, M. H., e W. Degefu, 1992: Drought Issues for the 1990s.

Gore, A., 1993: Earth in the balance: Ecology and the human spirit, Plume Book, 407 pp.

Hameed, S., K. R. Sperber, e A. Meinster, 1993: Teleconnections of the Southern Oscillation in the tropical Atlantic sector in the OSU coupled upper ocean-atmosphere GCM. *J. Climate*, 6, 487-498.

Hastenrath, S., 1984: Interannual variability and annual cycle: mechanisms of circulation and climate in the tropical Atlantic. *Mon. Wea. Rev.*, 112, 1097-1107.

Hastenrath, S., 1990: Prediction of Northeast Brazil rainfall anomalies. *J. Climate*, 3, 893-904.

Hastenrath, S., e L. Heller, 1977: Dynamics of climatic hazards in north-east Brazil. *Quart. J. R. Meteor. Soc.*, 110, 411-425.

Houghton, J. T., B. A. Callander, e S. K. Varney, 1992: Climate Change 1992. The Supplementary Report for the IPCC Scientific Assessment. University Press, Cambridge,

Houghton, J. T., G. T. Jenkins, e J. J. Ephraums, 1990: Climate Change: The IPCC Scientific Assessment. Report prepared for the IPCC by Working Group I. University Press, Cambridge, 1, 397.

Howell, W. E., 1960: Semeação de nuvens em climas tropicais. *Boletim do DNOCS*, 10, 347-362.

Kousky, V. E., 1979: Frontal influences on Northeast Brazil. *Mon. Wea. Rev.*, 107, 1140-1153.

Lamb, P. J., 1987: On the development of regional climatic scenarios for policy-oriented climatic-impact assessments. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 68, 16-23.



Lima, M. C., 1991: Variabilidade da precipitação no litoral leste da Região Nordeste do Brasil. MSc Thesis, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 222 p.

Magalhães, A. R., e M. H. Glantz, 1992: Socioeconomic impacts of climate variations and policy responses in Brazil, United Nations Environment Program (UNEP), Secretariat for Planning and Coordination State of Ceara (SEPLAN), Esquel Brasil Foundation, 155 pp.

Magalhães, A. R., e O. E. Rebouças, 1988: Introduction: drought as a policy and planning issue in Northeast Brazil. In: The impact of climatic variations on agriculture, M. L. Parry, T. R. Carter and N. T. Konijn Ed., p.p. 279-304, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

Mearns, L. O., 1992: Implications of Global Warming for Climate Variability and the Occurrence of Extreme Climate Events. In: Drought Assessment, Management, and Planning: Theory and Case Studies, D. A. Wilhite Ed., p.p. 109-130, Kluwer Academic Publishers, Boston/Dordrecht/London.

Meehl, G. A., G. W. Branstator, e W. M. Washington, 1992: Tropical Pacific interannual variability and CO₂ climate change. Submitted to J. climate,

Mitchell, J. B. F., S. Manabe, V. Meleshko, e T. Tokioka, 1990: Equilibrium climate change-and its implications for the future. In: Greenhouse-Gas-Induced Climatic Change: A Critical Appraisal of Simulations and Observations, M. Schlesinger Ed., p.p. 17-34, Elsevier, New York.

Mitchell, T. P., e J. M. Wallace, 1992: On the annual cycle in equatorial convection and sea-surface temperature. Submitted to J. Climate,

Moura, A. D., e J. Shukla, 1981: On the dynamics of droughts in northeast Brazil: Observations, theory and numerical experiments with a general circulation model. J. Atmos. Sci., 38, 2653-2675.

Namias, J., 1972: Influence of northern hemisphere general circulation on drought in northeast Brazil. Tellus, 24, 336-342.

Nobre, C. A., e L. C. B. Molion, 1988: The climatology of droughts and drought prediction. In: The impact of climatic variations on agriculture, M. L. Parry, T. R. Carter and N. T. Konijn Ed., p.p. 305-323, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

Nobre, C. A., H. H. Yanasse, e C. C. F. Yanasse, 1984: Drought Prediction in Northeast Brazil by Harmonic Analysis: Uses and Abuses.





Second WMO Conference on Tropical Droughts, WMO (TPM Report Series No. 15), Fortaleza, 113-115.

Nobre, P., 1993: On the genesis of anomalous SST and rainfall patterns over the tropical Atlantic basin. Ph.D. Dissertation in Meteorology, University of Maryland at College Park, 151 pp.

Nobre, P., A. D. Moura, e C. A. Nobre, 1985: Planetary-scale circulation anomalies associated with droughts over northeastern Brazil. Trop. Oc. - Atm. Newsl., March, 11-13.

Nobre, P., e J. Shukla, 1994: Variations of sea surface temperature, wind stress, and rainfall over the tropical Atlantic and South America. Submitted to J. Climate,

Rind, D., 1991: Climate variability and climate change. In: Greenhouse-Gas-Induced Climatic Change: A Critical Appraisal of Simulations and Observations, M. Schlesinger Ed., p.p. 69-78, Elsevier, New York.

SUDENE, 1981: As secas do Nordeste: Uma abordagem histórica de causas e efeitos. Ministério do Interior, CDU 551.577.38(812/814), 1981.

Ward, M. N., e C. K. Folland, 1991: Prediction of seasonal rainfall in the north nordeste of Brazil using eigenvectors of sea-surface temperature. Internat. J. Climatology, 11, 711-743.



ARIDAS



Ministério da
Integração Nacional

