

1. Classificação		2. Período	4. Critério de Distribuição:	
3. Palavras Chave (selecionadas pelo autor) <i>Clima, Clima Amazônico, Clima Nordeste, Clima Cerrados</i>			interna <input type="checkbox"/>	externa <input checked="" type="checkbox"/>
5. Relatório nº <i>INPE-1109-PE/083</i>	6. Data <i>Setembro 1977</i>		7. Revisado por - <i>Jorge de Mesquita</i> Jorge de Mesquita	
8. Título e Sub-Título <i>UM ENFOQUE DOS PROBLEMAS CLIMÁTICOS DO BRASIL</i>			9. Autorizado por - <i>Nelson de Jesus Parada</i> Nelson de Jesus Parada Diretor	
10. Setor <i>DME</i>	Código <i>413</i>		11. Nº de cópias <i>24</i>	
12. Autoria <i>Luiz Carlos Baldicero Molion</i> <i>Antonio Divino Moura</i>			14. Nº de páginas <i>23</i>	
13. Assinatura Responsável <i>Luiz Carlos Baldicero Molion</i>			15. Preço	
16. Sumário/Notas <i>Apresenta-se uma discussão de caráter geral sobre os fatores determinantes do Clima e as peculiaridades climáticas existentes no Brasil. Em particular, comenta-se sobre possíveis efeitos que um deflorestamento da Amazonia traria para o clima local e global. Com relação ao clima semi-árido anômalo do Nordeste, são discutidas algumas idéias sobre a influência da Circulação Geral da atmosfera na região, bem como os fatores locais (albedo e orografia) que podem estar atuando na manutenção de sua aridez. Finalmente, discorre-se sobre o Clima do Cerrado e Cerrado e a possibilidade de sua exploração agrícola.</i>				
17. Observações <i>Palestra convidada a ser apresentada no Seminário Internacional sobre Climatologia do Hemisfério Sul, Campinas, 5-9 setembro de 1977.</i>				

UM ENFOQUE DOS PROBLEMAS CLIMÁTICOS DO BRASILI. INTRODUÇÃO

O Sol é a principal fonte de energia, cerca de 99,97%, disponível para o sistema terra-oceano-atmosfera. Desta energia, aproximadamente 30% é refletida de volta ao espaço, 20% absorvida diretamente pela atmosfera e nuvens e o restante absorvida pela superfície terra-oceano.

Regiões tropicais recebem mais energia solar que regiões de latitudes médias e altas, em decorrência da maneira como a Terra revolve em torno do Sol e sobre si mesma. Por outro lado, a Terra perde energia para o espaço por processos radiativos, com taxas diferentes em diferentes lugares. Porém, em média, os Trópicos recebem mais energia do que perdem, o inverso acontecendo em regiões de latitudes médias e altas. Como consequência deste contraste termal equador-polo, estabelecem-se circulações atmosféricas e oceânicas que transportam calor em direção aos polos.

Se a superfície terrestre fosse homogênea, ou só água, ou só terra, sem irregularidades topográficas, a circulação atmosférica talvez tivesse um caráter mais zonal, isto é, na direção leste-oeste. Neste caso formar-se-iam cinturões zonais de pressão à superfície, vento e temperatura.

Uma aproximação deste caráter zonal da circulação pode ser notada no Hemisfério Sul, onde 80% da superfície é constituída de oceanos, que a tornam mais uniforme. No entanto, o contraste oceano-continente quebra este caráter zonal, formando células de pressão, como pode ser visto na Fig. 1. Nesta figura pode-se notar a formação de células de alta pressão sobre os oceanos sub-tropicais e células de baixa pressão sobre os continentes na região Tropical. Nas regiões equatoriais tem-se, sobre os oceanos, células de baixa pressão, associadas à zona de convergência intertropical (ITCZ). Observa-se ainda

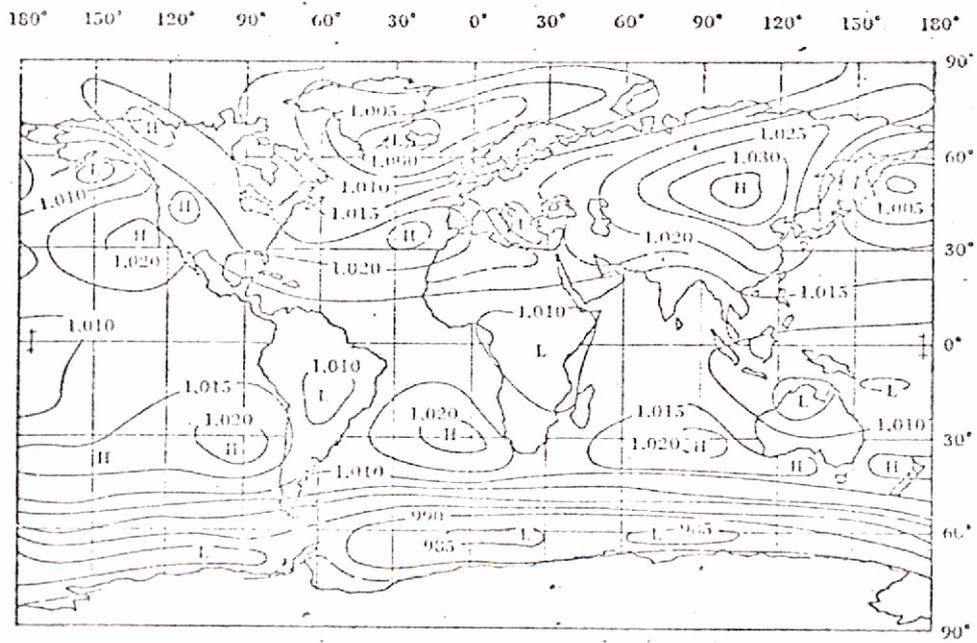


Fig. 1 - Distribuição média anual de pressão a superfície
(segundo Mintz).

que as regiões de latitudes sub-polares estão sob a influência de baixas de pressão. No Hemisfério Norte essas baixas estão localizadas quase que permanentemente sobre as Ilhas Aleutas (Pacífico) e sobre a Islândia (Atlântico). No Hemisfério Sul, as células formam praticamente um cinturão de baixa pressão, próximo do círculo de latitude 60°.

Um outro aspecto, decorrente das circulações atmosférica e oceânica e da distribuição de continente-oceano é a distribuição global de temperatura. A Fig. 2 mostra o "range" anual da temperatura (em graus °F). É notável a diferença entre as regiões de latitudes baixas e altas e entre as regiões oceânicas e continentais. Isto porque os oceanos tem uma inércia térmica maior do que os continentes. A Fig. 3 mostra os desvios de temperatura com respeito à média latitudinal, para os meses de janeiro (topo) e julho (embaixo). Em geral, em um hemisfério os desvios são positivos, sobre os continentes, e negativos sobre os oceanos, durante o verão. O contrário é observado no inverno.

Com relação à distribuição latitudinal média de precipitação, observa-se na Fig. 4 que existe um máximo na região equatorial, associado à ITCZ, e outros dois máximos secundários em torno de 50 graus de latitude, devido aos ciclones extra-tropicais itinerantes. Os dois mínimos relativos, localizados nas regiões subtropicais, são causados pelos cinturões de alta pressão (vide Fig. 1).

Entretanto, para um conhecimento mais detalhado da distribuição média, e seus desvios, dessas variáveis atmosféricas, é necessário ter um conjunto de observações feitas com maior regularidade espacial, maior frequência e durante um longo período de tempo. No Hemisfério Sul, porém, este problema é de difícil solução pois, como já foi dito, os oceanos constituem cerca de 80% deste Hemisfério. Esforços de cooperação internacional vem sendo realizados através do Programa Global de Pesquisas Atmosféricas (GARP/FGGE) no sentido de sanar esta dificuldade.

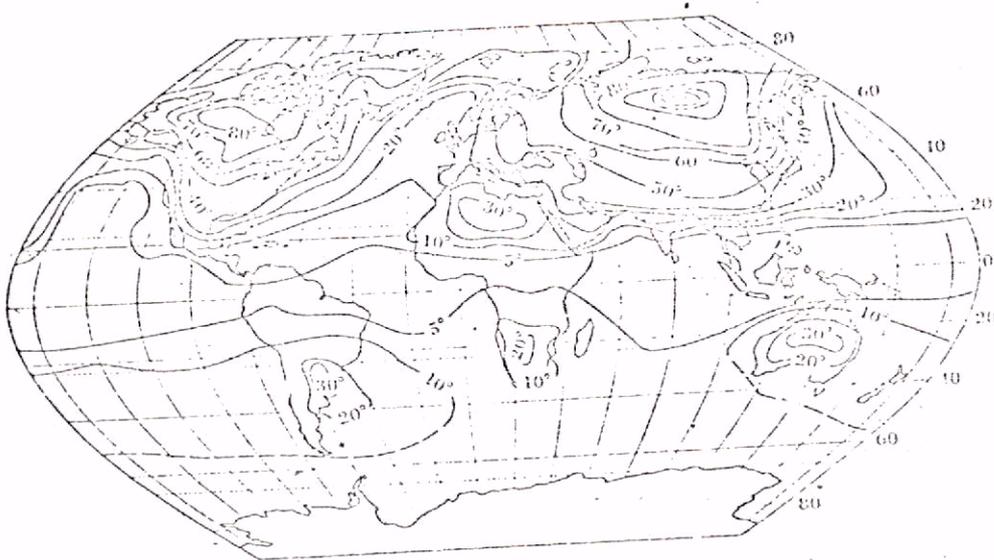


Fig. 2 - "Range" anual de temperatura ($^{\circ}$ F) (segundo Trewartha).

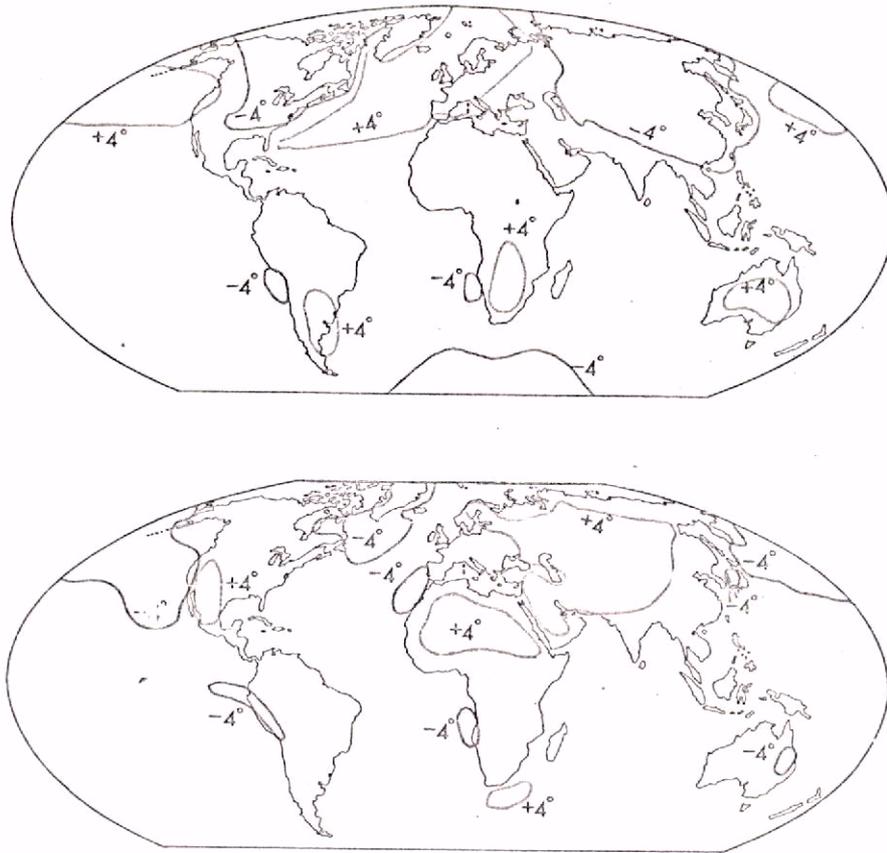


Fig. 3 - Isoanomalias de temperatura para janeiro (topo) e julho (em baixo) (segundo Flohn).

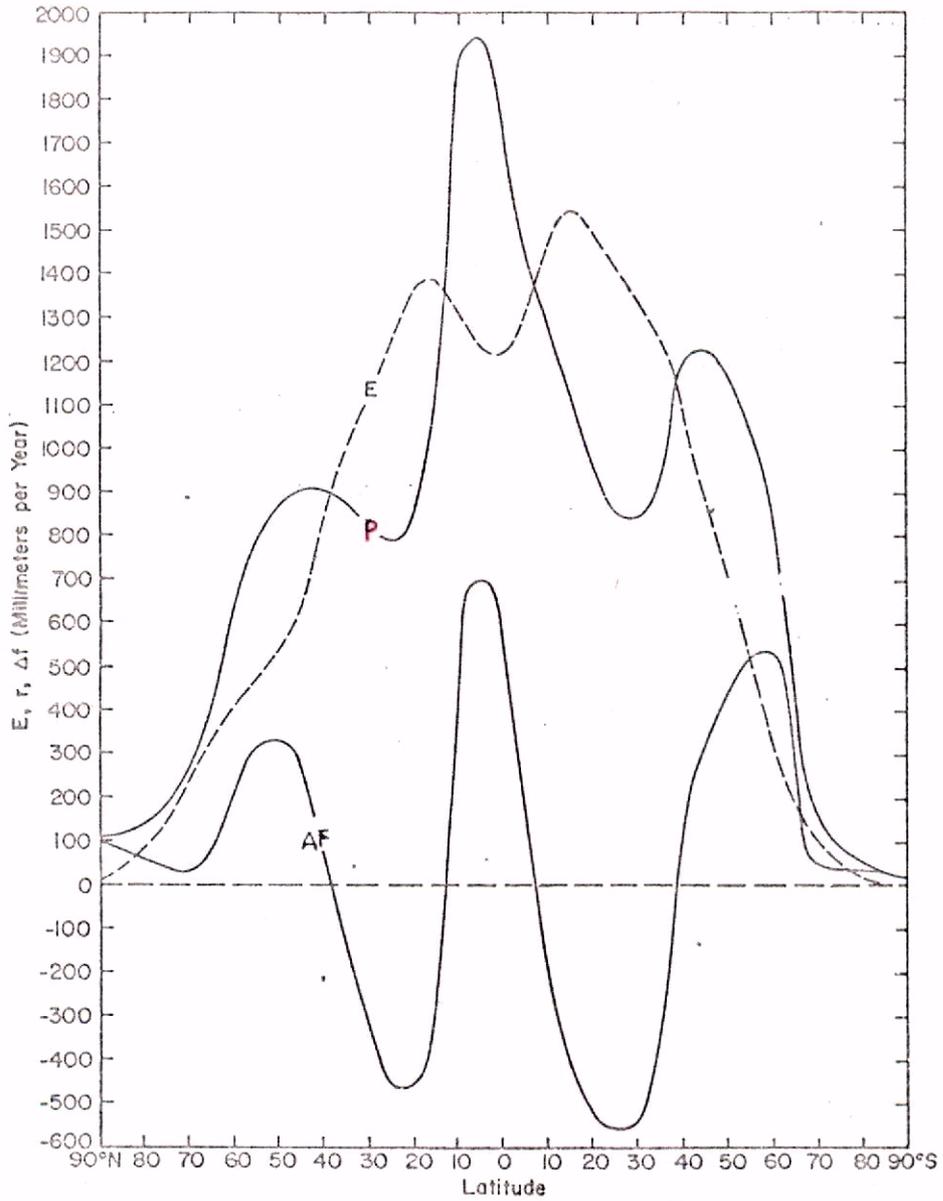


Fig. 4 - Distribuição média anual da evaporação (E), precipitação (P) e "runoff" (AF) com latitude (segundo Sellers).

II. PECULIARIDADES CLIMÁTICAS NA AMÉRICA DO SUL

Segundo o Glossário de Meteorologia (American Meteorological Society), *Tempo* é o estado da atmosfera, principalmente com respeito a seus efeitos sobre a vida e as atividades humanas; o Tempo consiste de variações a curto prazo (minutos a meses) da atmosfera. Por outro lado, *Clima* é a síntese do Tempo, ou, com maior rigor, Clima de uma área específica é representado pelo conjunto estatístico de suas condições de Tempo durante um certo intervalo, usualmente várias décadas.

Dentre os fatores formadores do Clima, ressaltam-se em escala global: a) distribuição latitudinal da radiação solar incidente; b) distribuição de continentes e oceanos, com seus respectivos albedos; c) e a circulação geral da atmosfera.

Em escala regional, os principais elementos formadores do Clima são: a) a própria circulação geral; b) a topografia local; c) a natureza da cobertura da superfície; d) o ciclo hidrológico; e) influência de correntes oceânicas em regiões costeiras.

É importante ressaltar que a própria circulação geral da atmosfera já é consequência dos efeitos integrados da constante solar (função forçante), do tamanho, rotação e aceleração da gravidade do planeta e da composição atmosférica.

O ciclo hidrológico, por sua vez, deve ser considerado como um elemento formador do clima, primeiro, porque ele não só é um produto do próprio clima, como também da paisagem geográfica; segundo, ele exerce uma influência característica sobre o clima - a interação entre umidade atmosférica, precipitação e "runoff" - que não é uma simples combinação de efeitos dos outros fatores formadores do clima.

O Continente Sul Americano, compreendido entre 10°N

e 50°S, apresenta peculiaridades de grande interesse em estudos climáticos: contém a maior bacia hidrográfica associada à maior floresta tropical do globo; apresenta uma anomalia equatorial - a região semiárida do Nordeste brasileiro. Por sua vez, a Cordilheira dos Andes constitui uma enorme barreira à circulação zonal dos ventos.

Dentre as regiões com peculiaridades climáticas na América do Sul, podem ser citadas:

a) no Brasil

- Região Nordeste
- Amazônia
- Ilha do Marajó
- Região dos Cerrados
- Região Sul (transição entre regimes tropical e de latitudes médias)

b) nos outros países

- Deserto Costal do Peru, Chile e Ecuador
- Llanos Centrais
- Desertos Argentinos
- Savanas Venezuelanas

Recentemente, cientistas de vários países tem demonstrado grande interesse pelo problema dos possíveis efeitos de um deflorestamento da Amazônia no clima local e global, bem como no entendimento das causas do regime irregular de precipitação na região do Nordeste Brasileiro. Por outro lado, alguns cientistas brasileiros consideram a região dos cerrados como uma alternativa providencial para preservar a Amazônia da devastação que vem sofrendo.

III. O CLIMA AMAZÔNICO E CONSEQUÊNCIAS DE POSSÍVEIS MODIFICAÇÕES DO ECOSISTEMA

Em junho de 1970, foi promulgado o Plano de Integração

Nacional (PIN) da Amazônia. Deste plano consta a construção de 12.000 km de rodovias; em cada lado das rodovias, estão reservadas faixas de 100 km de largura para o desenvolvimento de projetos agropecuários, perfazendo um total de 2,4 milhões de quilômetros quadrados a serem desmatados - praticamente metade da Amazônia brasileira! A floresta que parecia ter sido indestrutível durante séculos, está agora ameaçada.

Tal fato alertou ecologistas receosos das consequências do desmatamento que poderá não só afetar o clima regional, mas também a própria circulação geral da atmosfera. Este é um problema de extrema importância especialmente se os processos biológicos se provarem irreversíveis, como muitos acreditam que são. O problema, então, resume-se em saber quanto de vegetação pode ser destruída sem afetar o clima.

A avaliação da influência exercida pela floresta sobre o clima é difícil, devido a complexidade dos processos físicos diretos e de realimentação (feedback) envolvidos, a insuficiência do nosso conhecimento atual sobre o transporte de água através do sistema solo-planta-atmosfera e a variação natural (intrínseca) do clima. Os estudos sobre remoção de florestas, a maioria deles realizados para latitudes médias, não apresentam resultados conclusivos a respeito dessas influências. Contudo, é sabido que a mudança de floresta para campos cultivados ou pastagens altera, localmente, o balanço de energia. O albedo (refletividade da superfície) geralmente aumenta nesse processo e a rugosidade aerodinâmica decresce. Os processos turbulentos de transporte de calor e vapor de água, nos baixos níveis, são alterados drasticamente. Por sua vez, a evapotranspiração é reduzida por várias razões: drenagem dos campos antes do cultivo, "runoff" mais rápido, solo desnudo por períodos de tempo consideráveis, e sistemas de raízes dos cultivos menos profundos que os das árvores.

Um estudo observacional do balanço hídrico regional (Molion, 1975), mostra que cerca de 44% da precipitação média anual pro

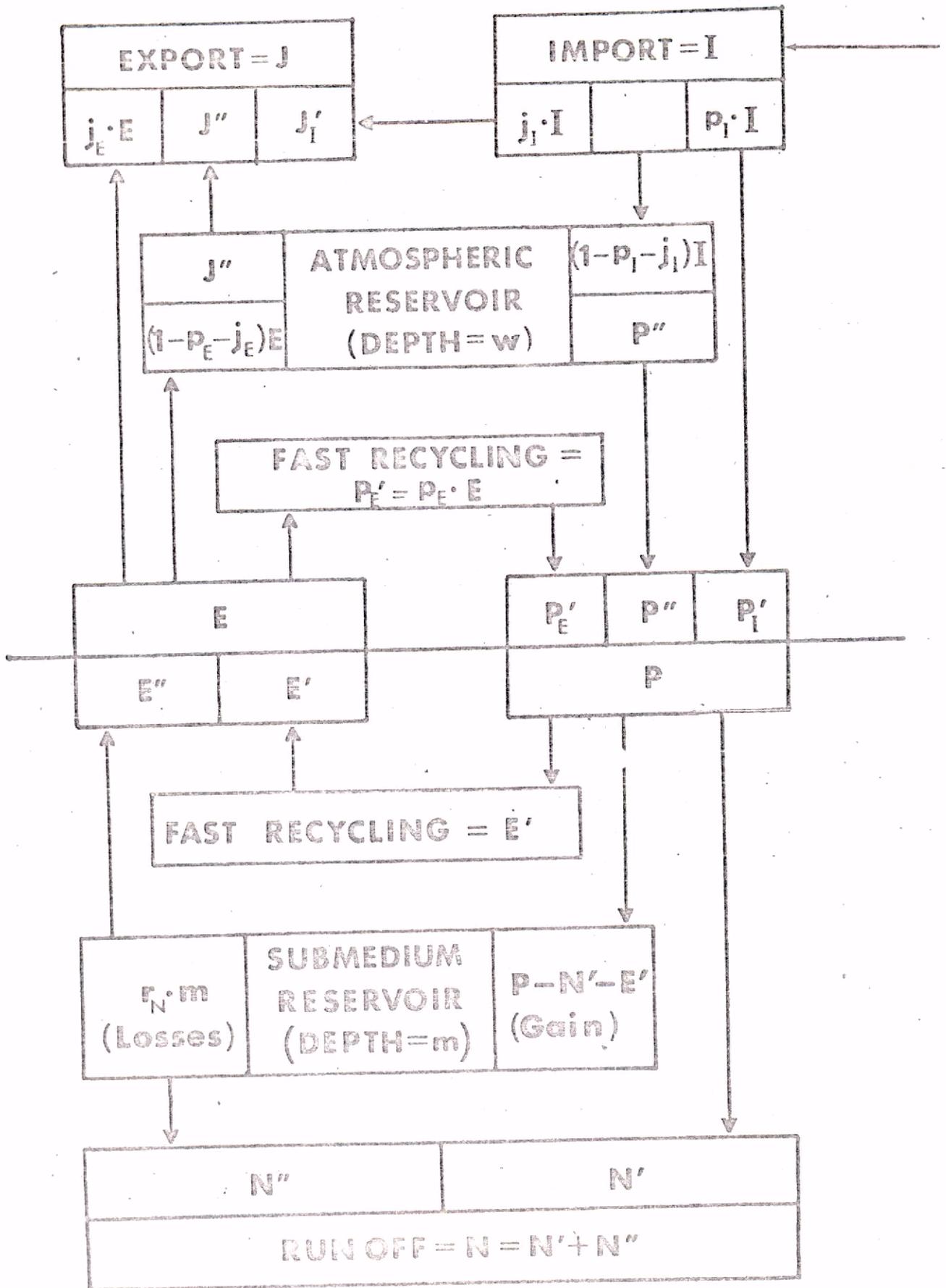


Fig. 5 - Ciclo hidrológico da Amazônia.

vêm de vapor de água que é transportado pelos ventos Alísios para dentro da região, sendo os 56% restantes provenientes da evapotranspiração local. A importância da floresta nessa reciclagem interna, para a precipitação regional, é mostrada na Fig. 5. Um outro estudo, fazendo uso de técnicas de fracionamento isotópico O^{16}/O^{18} da água precipitada, confirma esta conclusão (Salati, 1976).

O desmatamento em grande escala diminui a evapotranspiração, afetando não só o clima regional, pela consequente redução da precipitação como, possivelmente, o clima do globo, pela redução da parcela de calor latente que a Amazônia fornece para a Circulação Geral da atmosfera.

IV. O CLIMA DA REGIÃO NORDESTE

A Região Nordeste do país é habitada por cerca de um terço da população brasileira. O impacto do clima semi-árido sobre essa população tem sido bastante severo, mormente em condições de secas prolongadas, gerando, em decorrência do fracasso da agropecuária, o êxodo da população rural para áreas urbanas. Este problema, de ordem econômico-social, tem motivado estudiosos do clima a se preocuparem não só com as possíveis causas da existência dessa região anômala semi-árida em plena área equatorial, mas também, com métodos para a previsão de períodos prolongados de estiagem.

A Fig. 6 mostra a distribuição da precipitação total anual sobre o Brasil. Pode-se notar a baixa taxa de precipitação sobre o chamado "Polígono das Secas" em contraste com a que ocorre sobre a Amazônia. A Fig. 7 mostra que, em média, 4 meses do ano são excessivamente secos, recebendo menos de 5mm de chuva. Por outro lado, é interessante notar, na Fig. 8, a enorme divergência do fluxo de vapor d'água sobre a região, indicando que, potencialmente, a atmosfera local é capaz de evaporar pelo menos o dobro da precipitação que ocorre na região. Paradoxalmente, apesar de a região ser seca, parece existir uma razoável quantidade de vapor de água nas baixas camadas de sua

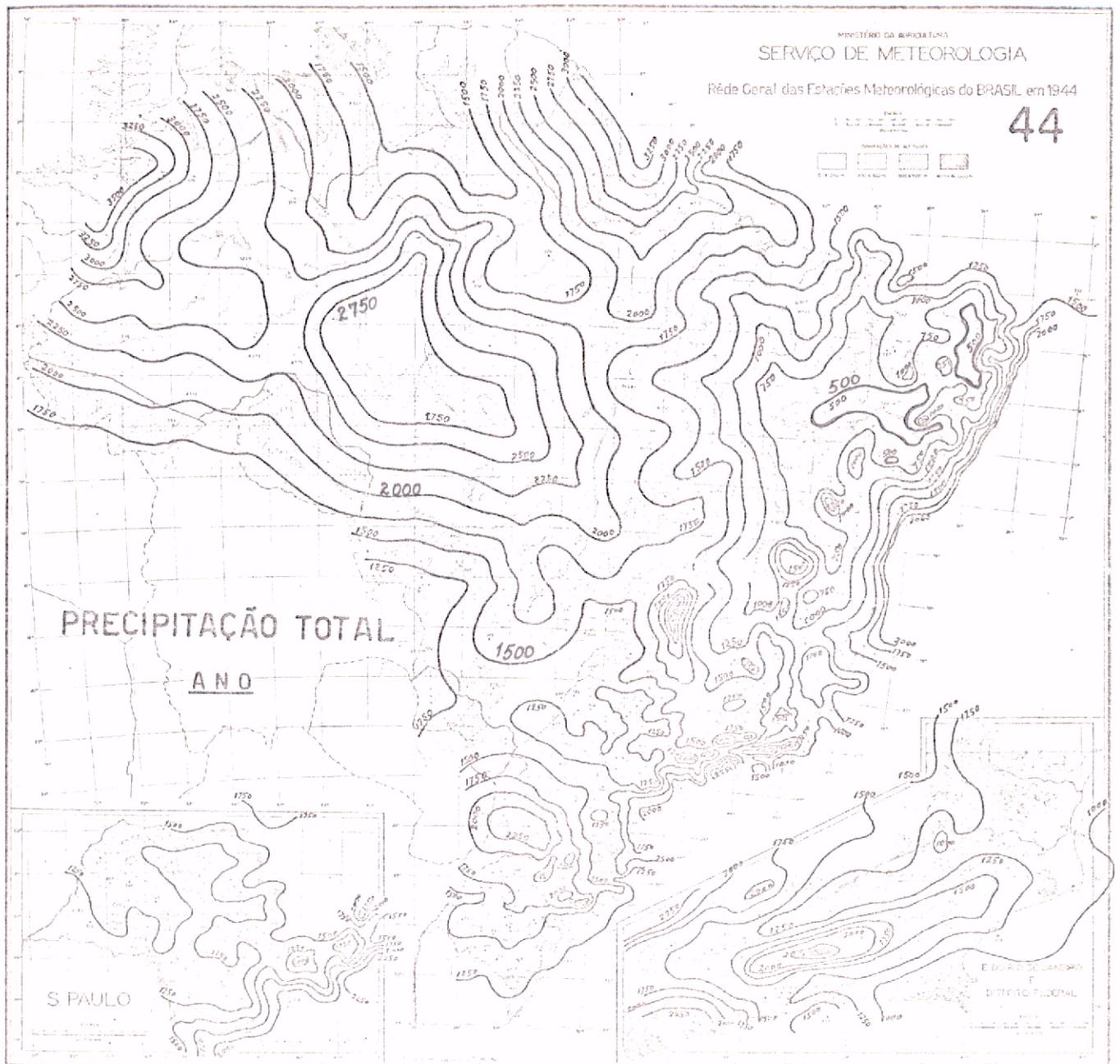


Fig. 6 - Precipitação total anual em mm. Notar a baixa taxa de precipitação sobre o Polígono das Secas, contrastante com a da Amazônia (Normais Climatológicas - DNMET)

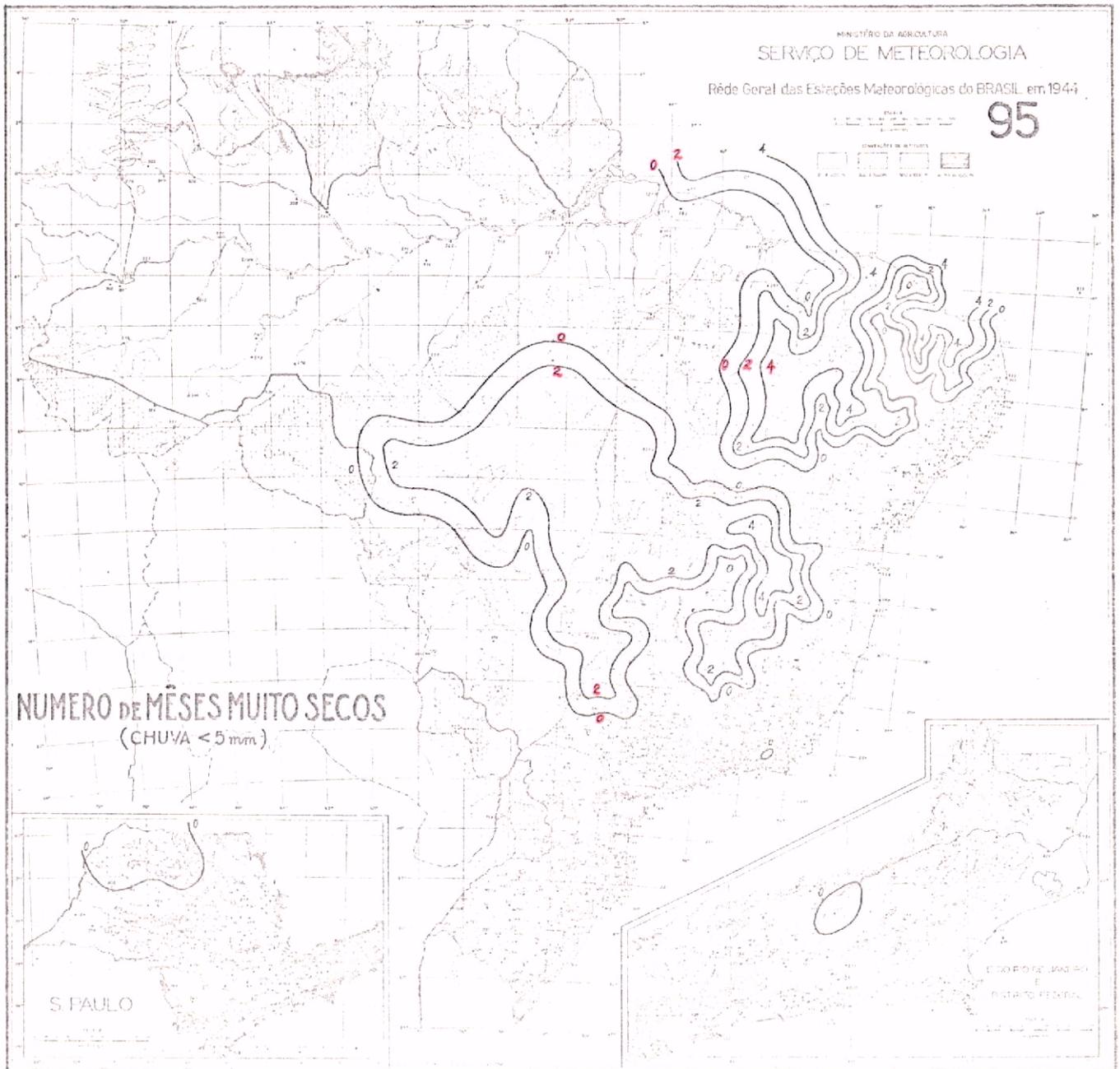


Fig. 7 - Número de meses secos. Notar a Região Nordeste e a dos Cerrados (Normais Climatológicas - DNMET).

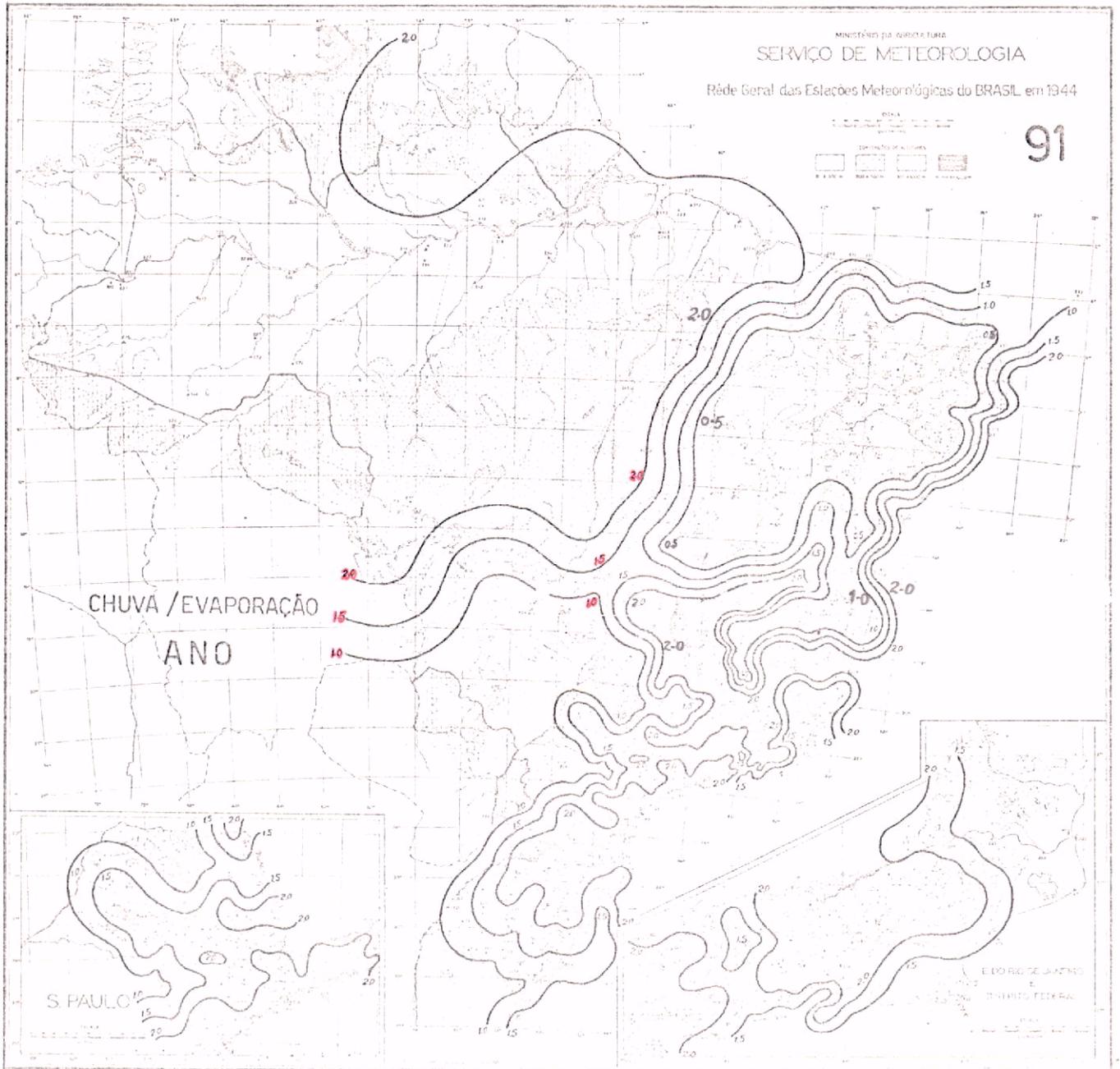


Fig. 8 - Relação chuva/evaporação média anual. Notar o excesso de evaporação na Região Nordeste, contrastando com o excesso de precipitação na Amazônia (Normais Climatológicas - DNMET).

atmosfera (Aragão, 1975). Esse trabalho sugere que parece faltar à região um mecanismo que provoque instabilidade nas baixas camadas, propiciando o transporte vertical do vapor de água existente, sua consequente condensação e precipitação.

Os trabalhos realizados até o presente podem ser classificados em duas categorias:

a) o clima do Nordeste seria fundamentalmente determinado pela Circulação Geral da atmosfera. Neste caso, restaria somente a esperança de se poder prever a ocorrência de fenômenos extremos, tais como secas prolongadas ou enchentes. Namias (1972), por exemplo, sugere a existência de *teleconexões* entre a atividade ciclônica no Atlântico Norte, próximo à Groenlândia, e as secas no Nordeste. Markham (1977) e Hastenrath e Heller (1977) investigaram as possíveis influências que anomalias de temperatura da superfície do mar (ATSM), em regiões do Atlântico Sul, teriam sobre o regime de precipitação do Nordeste. Teoricamente, se a ATSM for positiva, a evaporação aumenta, tornando a atmosfera mais instável nos baixos níveis. Como consequência, a convecção intensifica e a altura da camada de mistura se eleva, permitindo que os Alísios transportem um maior conteúdo integrado de vapor de água para dentro do continente. Outras tentativas para estabelecer possíveis correlações entre a ATSM e precipitação sobre o continente tem sido levadas a efeito através de simulação, por meio de Modelos Numéricos de Circulação Geral. Neste tocante, cabe ressaltar o trabalho de Shukla (1975), que estabelece correlações entre as ATSM no Mar Arábico e a intensidade das monções na Índia. A Fig. 9, extraída desse trabalho, mostra, na parte a, a área oceânica onde as ATSM ocorrem e a área de controle do experimento sobre a Índia. Na parte b aparece a taxa de precipitação média sobre a área de controle para o caso normal (standard) e o caso com anomalia.

b) o clima anômalo seria determinado por condições locais (escala regional) tais como orografia e/ou alta refletividade (albedo) do solo quase desnudo. A justificativa, em parte, prende-se

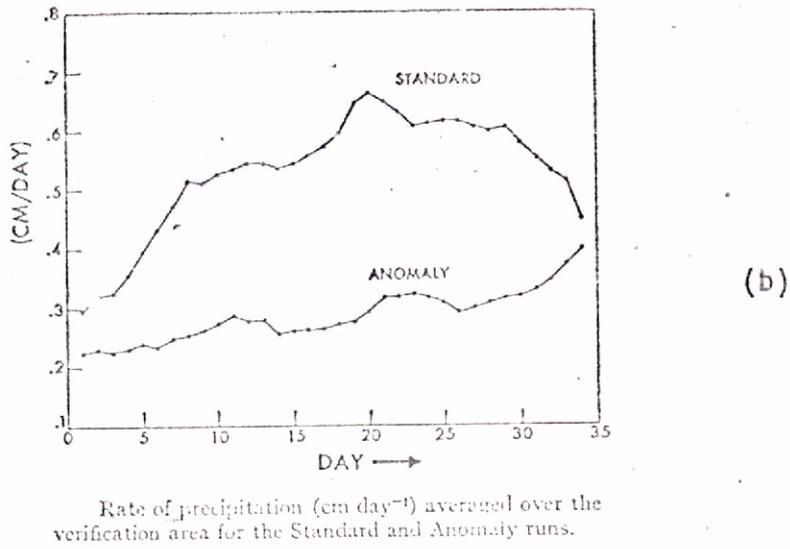
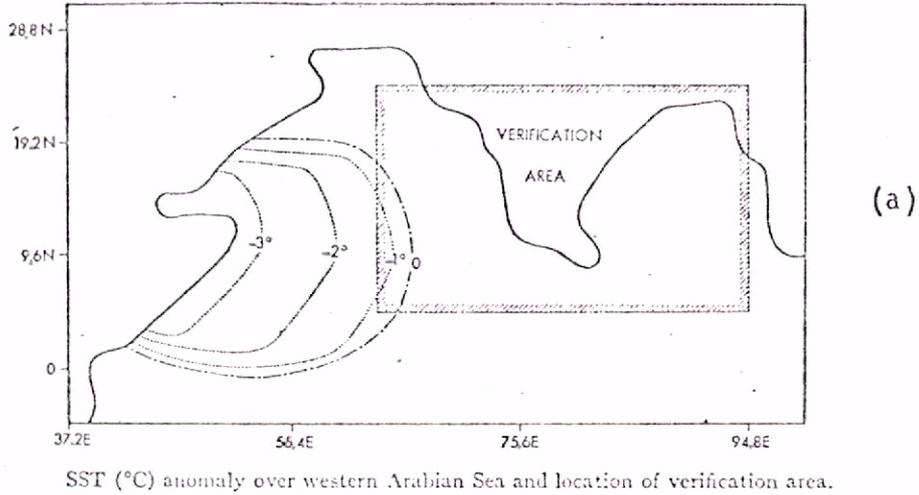


Fig.9. - Efeito de anomalia de temperatura à superfície do mar sobre as monções da Índia (estudo de simulação numérica efetuado por Shukla).

ao fato de que regiões desérticas tendem a se formar em latitudes temperadas (e.g. Sahara) e não na região equatorial. É por isso que a região semi-árida do Nordeste é dita anômala. Aqui cultiva-se a esperança - até o presente não muito bem fundamentada - de que, além da possibilidade de prever eventos extremos, poder-se-ia modificar o clima regional. Charney et al (1975) e Berkofsky (1976) enfatizam a importância da cobertura vegetal e da radiação solar, absorvida na circulação atmosférica, sobre regiões áridas. A idéia fundamental é que uma região de albedo elevado, comparativamente às vizinhanças, absorve menos energia, fazendo com que a atmosfera sobre ela seja relativamente mais fria. O contraste térmico força a atmosfera adjacente a realizar um trabalho de compressão adiabática descendente sobre a região. Como consequência, a convecção é inibida, reduzindo a formação de nuvens e precipitação. A ideia de um mecanismo de realimentação (feedback) bio geofísico, proposta por Charney, é fundamental em seu caráter, pois ressalta a forte interdependência entre o clima e a cobertura vegetal. Consequentemente, a atuação do homem e animais, modificando a flora, pode alterar o clima local. As Figs. 10 e 11 mostram alguns resultados do estudo de Charney et al. para um albedo de 14%, simulando um Sahara coberto de vegetação, e um albedo de 35% para um Sahara desértico. A Fig. 11 mostra que um Sahara vegetado tem uma distribuição latitudinal de precipitação mais extensa. Um estudo dessa natureza está sendo desenvolvido para a região Nordeste (Gomes, em andamento).

V. O CLIMA DE CERRADOS

Recentemente, a região dos Cerrados tem sido considerada como alternativa providencial para preservar a Amazônia da devastação levada, nos últimos anos, pelas novas estradas e pelas tentativas inadequadas de colonização e ocupação da região.

O Cerrado e o Cerradão cobrem cerca de 2 milhões de quilômetros quadrados. Desse total, um quarto pode ser utilizado de forma intensiva para agricultura, pois o solo do Cerrado é profundo. Porém, segundo os especialistas, os solos são pobres. A baixa fertilidade é

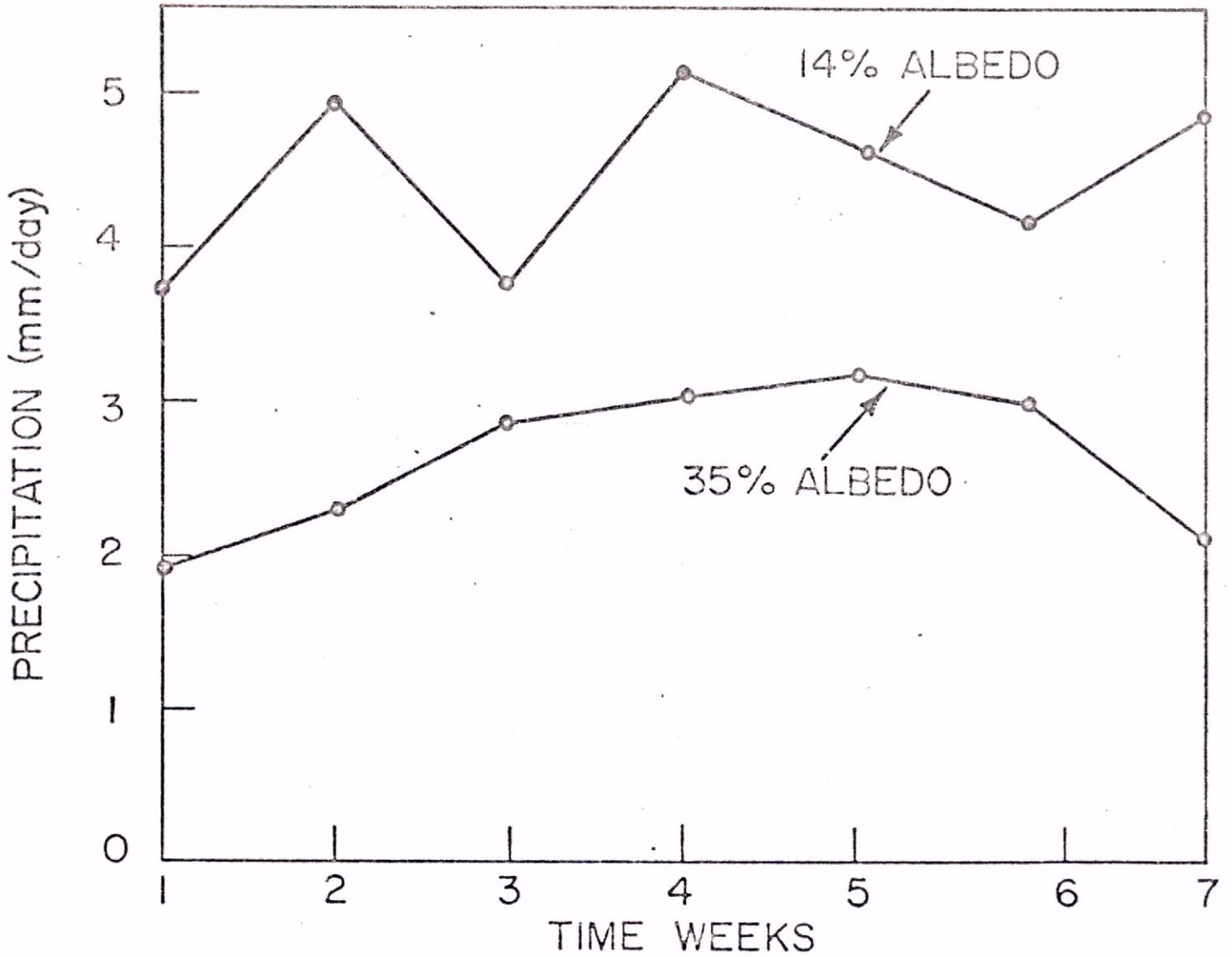


Fig. 10 - Influência do albedo na precipitação sobre o Sahel (estudo de simulação numérica - Charney et.al.).

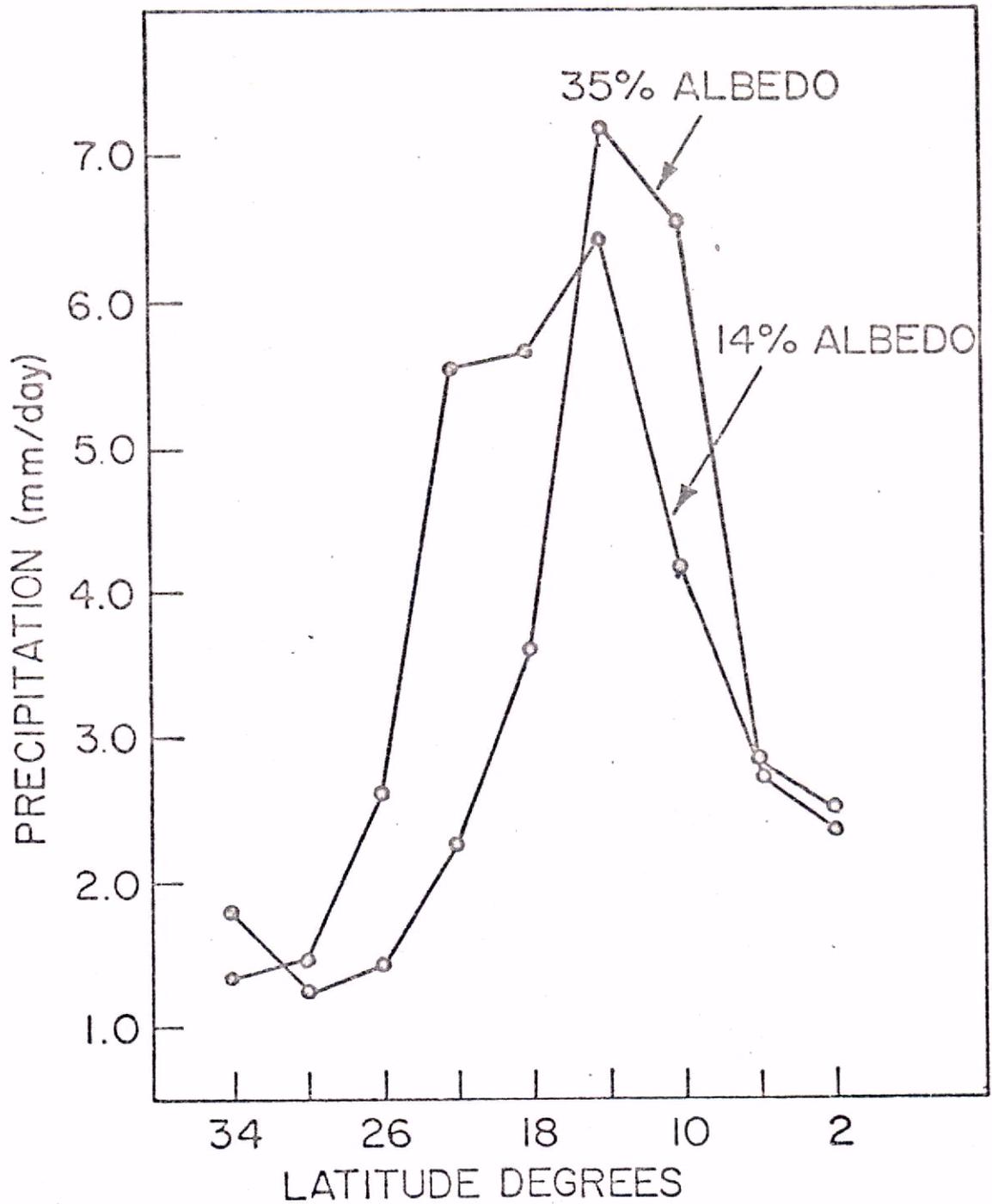


Fig. 11 - Influência do albedo na precipitação sobre o Sahel (sul do Sahara), mostrando deslocamento e intensificação da ITCZ para o sul, com maior desertificação da região (35%) (simulação numérica - Charney et.al.).

consequência de vários fatores: alta capacidade de fixação de fósforo, toxidez de alumínio e escassez generalizada de nutrientes. A falta de nitrogênio, potássio, fósforo e outros nutrientes, minerais ou orgânicos torna ainda mais difícil a exploração e a produção agropecuária, especialmente com os sistemas primitivos de manejo de terra. O Prof. Mário Guimarães Ferri, talvez o maior especialista em Cerrados no Brasil, acredita que água não é fator limitante da vegetação do Cerrado e que são as aparências levariam hoje alguém a supor que o solo do Cerrado seja seco (em área que chove, em média de 1300 a 1400 mm por ano).

Observando a Fig. 7, porém, vemos que a região dos Cerrados tem pelo menos dois meses com precipitação menor do que 5 mm. Em outras palavras, muito embora a região receba entre 1300 a 2000 mm de precipitação (Fig. 6), a distribuição temporal dessa precipitação não é uniforme, fazendo com que, em certas épocas do ano, a umidade do solo se torne fator limitante na produção agropecuária.

Conclui-se, portanto, que há necessidade de se focar o problema do desenvolvimento econômico dos Cerrados, não só sob os aspectos de distrofia dos solos, mas também sob o aspecto do clima e os possíveis mecanismos de realimentação biogeofísicos. Ao que tudo indica, a deficiência de nutrientes do solo dos Cerrados pode ser corrigida através de técnicas sofisticadas de agricultura, ao passo que a influência que o clima exerce sobre a vegetação tem um caráter mais complexo e, portanto, mais difícil de ser modificado.

VI. CONCLUSÕES

As discussões apresentadas, de caráter geral, indicam a necessidade de intensificação de estudos climáticos do Hemisfério Sul e, em particular, do Brasil. A complexidade do problema, de um lado, envolvendo aspectos observacionais, necessita de cooperação internacional e, de outro, pela sua natureza multidisciplinar, exige a colaboração de cientistas de vários ramos da ciência (meteorologistas, hidrologistas, agrônomos, biólogos, físicos de solo, oceanógrafos).

Os trabalhos de correlação estatística entre certos aspectos da Circulação Geral da atmosfera, ou de anomalias, e as secas ou enchentes no Nordeste, apesar de não poderem explicar as suas causas, devem ser incentivados. Isto porque o método parece permitir previsões de 3 a 6 meses, servindo pelo menos como advertência de ocorrência de fenômenos extremos.

O problema de frequência e densidade de observações parece caminhar para uma solução com o Primeiro Experimento Global do GARP (FGGE), com medições intensivas em 1978-1980.

Finalmente, conclue-se que os estudos do clima, de caráter complexo e multidisciplinar, incluindo a forte interdependência dos elementos componentes do sistema solo-planta-atmosfera, necessitam muito mais do que observações: idéias básicas, fundamentais e inovadoras. Neste sentido, o esforço de cooperação internacional de cientistas preocupados com o assunto, e sua implicação econômico-social, deve ser positivamente estimulado. E isto, felizmente, vem ocorrendo nos últimos anos, se bem que ainda em caráter incipiente.

REFERÊNCIAS

- ARAGÃO, J.O.R., 1975 - Um Estudo da Estrutura das Perturbações Sinóticas do Nordeste do Brasil - INPE-789-TPT/017, 205pp.
- BERKOFISKY, L., 1976: The Effect of Variable Surface Albedo on the Atmospheric Circulations in Desert Regions. J. Appl. Met. Vol. 15, November 1976 - 1139 - 1144.
- CHARNEY, J., P.H.STONE AND J. QUIRK 1975: Drought in the Sahara: A Biogeophysical Feedback Mechanism - Science, 187 (4175): p. 434-435.
- DNMET, 1969: Atlas Climatológico do Brasil - Ministério da Agricultura.
- FLOHN, H 1969: Weather and Climate McGraw-Hill Book Co., New York, 253 pp.
- GOMES FILHO, M.F., 1977: Tese de Mestrado - Instituto de Pesquisas Espaciais (em andamento).
- HASTENRATH, S.AND HELLER, 1977: Dynamics of Climatic Hazards in Northeast Brazil. Quart J.R. Met. Soc. 103, pp. 77 - 92.
- MARKHAM, C.G. AND D.R. MCLAIN, 1977: Sea Surface Temperature Related To Rain in Ceara, Northeastern Brazil. Nature Vol. 265 January 27, p.320-323.
- MOLION, L.C.B. 1975: A Climatonic Study of the Energy and Moisture Fluxers of the Amazonas Basin with Considerations of Deforestation Effects.
PhD Dissertation University of Wisconsin. 133 pp.
(Publicação INPE - 923-TPT/035)
- SALATI, E., 1976: Palestra apresentada em "Ecossistemas da Amazônia" 28a. Reunião da SBPC, Brasília.
- SHUKLA, J. 1975: Effect of Arabian Sea-Surface Temperature Anomaly on Indian Summer Monsoon: A Numerical Experiment With the GFDL Model J.Atm. Sci. 32 (3), 503 - 511.