

Circulação Atmosférica do Brasil

(Contribuição ao Estudo da Climatologia do Brasil)

EDMON NIMER

Geógrafo do CNG

A experiência tem-nos mostrado que nenhum fenômeno da natureza pode ser compreendido, quando encarado isoladamente, fora dos demais circundantes. Qualquer acontecimento natural pode ser convertido num contra-senso quando analisado fora das condições que o rodeiam; ao contrário, se considerado em ligação com os demais poderá ser compreendido e justificado. O quadro vegetacional, por exemplo, não pode ser justificado nem bem compreendido se considerado isolado do seu meio atmosférico, isto é, do clima que o domina. O mesmo ocorre com este último que não pode ser explicado sem o conhecimento do seu mais importante fator — *as massas de ar*. Por isso, o estudo das mesmas constitui o fundamento da moderna climatologia.

Tôdas as massas de ar responsáveis pelas condições climáticas na América do Sul atuam, no Brasil, direta ou indiretamente, a saber: *Equatorial atlântica (mEa)*, *Equatorial continental (mEc)*, *Equatorial pacífica (mEp)*, *Equatorial norte (mEn)*, *Tropical atlântica (mTa)*, *Tropical continental (mTc)*, *Tropical pacífica (mTp)*, *Antártica (mA)*, *Polar atlântica (mPa)*, *Polar pacífica (mPp)*, *Superior (mS)*.

Para melhor compreensão veremos, primeiramente, as regiões de origem e propriedades das massas de ar, a distribuição média da pressão e ventos (circulação normal) e, finalmente, as perturbações (circulação secundária).

I — REGIÕES DE ORIGEM E PROPRIEDADES DAS MASSAS DE AR

1 — *Massas Equatoriais* — Quatro são as fontes de origem, três marítimas e uma continental, o que nos leva a distinguir quatro massas de ar:

a) Zona dos alisos de SE do anticiclone do Atlântico Sul, fonte da massa *Equatorial atlântica (Ea)*;

b) Zona dos alisos de SE do anticiclone do Pacífico Sul, fonte da massa *Equatorial pacífica (Ep)*;

c) Zona dos alisos de NE do anticiclone do Atlântico Norte (dos Açores), fonte da massa *Equatorial norte (En)*.

Essas três fontes são separadas entre si pelo continente e pelas calmas equatoriais. Tôdas três possuem subsidência e conseqüentemente uma inversão térmica que dificulta a mistura assegurando-lhe estabilidade.

d) Zona aquecida e caracterizada pela presença de florestas e savanas onde dominam as calmarias do regime depressionário continental, fonte da massa *Equatorial continental*.

Vejamos com alguns detalhes as propriedades das massas *Ea* e *Ec*, pois para o Brasil estas intervêm diretamente.

mEa — Constituída pelos alisos de SE do Atlântico, compõe-se de duas correntes, uma inferior fresca e carregada de umidade oriunda da evaporação do oceano, e outra superior quente e seca, de direção idêntica, mas separadas por uma inversão de temperatura, a qual não permite o fluxo vertical do

vapor, assim barrado, assegurando bom tempo. Entretanto, em suas bordas, no *doldrum* ou no litoral do Brasil, a descontinuidade térmica se eleva e enfraquece bruscamente, permitindo a ascensão conjunta de ambas as camadas dos alísios. Dêsse modo a massa torna-se aí instável, causando as fortes chuvas equatoriais e as da costa leste do continente, estas agravadas pela orografia.

mEc — Como vimos, essa massa se forma sobre o continente aquecido onde dominam as calmas e ventos fracos do regime depressionário, sobretudo no verão. Nesta época, o continente é um centro quente para o qual afluem de norte e leste os ventos oceânicos oriundos na massa *En* mais fria, vindo constituir, em terra, a massa *Ec*.

Na depressão térmica produz-se acentuada ascensão, que, dada a falta de subsidência, empresta-lhe um caráter de instabilidade convectiva. Isto permite que a umidade específica se distribua mais uniformemente com a altura. Por se tratar da massa constituída de ventos oceânicos, e sujeita a freqüente condensação, a umidade relativa é elevada, sendo característica a formação de grandes cúmulos-nimbos e precipitação abundante.

2 — *Massas Tropicais* — Zona de ventos variáveis e divergentes das calmarias subtropicais, ou seja, dos anticiclones semi-fixos do Atlântico e do Pacífico. Limitam ao sul com as massas polares, e se estendem ao norte até a zona dos alísios de SE. Estas massas de divergência anticiclônica, possuem subsidência superior, a qual favorece a mistura lateral e impede a vertical, dando-lhe um caráter de homogeneidade.

Vejamos a seguir com mais detalhes as massas Tropical atlântica e Tropical continental, que nos interessam diretamente.

a) *mTa* — Forma-se na região marítima quente do Atlântico Sul, recebendo por isso, muito calor e umidade na superfície. O movimento do ar nessa região é determinado pelo anticiclone subtropical, bastante persistente. O ar é muito uniforme na superfície, com muita umidade e calor, porém sua uniformidade não se estende a grandes alturas, porque na parte leste dessa alta subtropical há um persistente movimento de subsidência a uns 500 a 1000 metros acima do mar. A umidade absorvida do oceano se limita à camada superficial. Na parte oeste das altas subtropicais há um ligeiro movimento ascendente com grande mobilidade vertical do ar que eleva a subsidência para acima de 1500 m. Como consequência, a umidade absorvida do oceano penetra até grandes alturas tornando o setor ocidental da massa tropical marítima mais sujeita a instabilidade que o setor oriental. Além disso, devido à presença da corrente marítima (quente), a massa sofre grande aquecimento na costa da América do Sul, sobretudo no verão, quando é maior a temperatura daquela corrente, tornando-se por isso instável. A diferença entre a estrutura da massa de ar nas partes leste e oeste da alta subtropical pode ser constatada comparando a precipitação no oeste da África com a do leste da América do Sul. A inversão superior que é mais alta a oeste, eleva-se pouco a pouco, desaparecendo a sudoeste ao se aproximar da frente polar. Isto possibilita a mistura por convecção da umidade específica que se achava concentrada abaixo da inversão, realizando a instabilidade com a ascensão frontal nas latitudes subtropicais.

b) *mTc* — Essa massa adquire maior importância durante o verão, ou melhor, dos fins da primavera ao início do outono. Sua região de origem é a estreita zona baixa, quente e árida, a leste dos Andes e ao sul do Trópico. É oriunda da frontólise na Frente Polar Pacífica, cujos ciclones se movem para sudeste ocluindo depois de transpor os Andes, onde sofrem efeito de dissecação adiabática. Esse fato, ligado à grande insolação do solstício de verão, deve contribuir para a elevada temperatura e secura da massa. A Depressão térmica do Chaco se constitui assim em fonte da *mTc*. Esta é constituída por uma circulação ciclônica na superfície, de forte convergência. Entretanto, sua baixa umidade, aliada à forte subsidência da Alta superior, dificulta a formação de

nuvens de convecção e trovoadas, sendo, portanto, responsável por tempo quente e seco.

3 — *Massa Antártica* — Sua fonte é a região polar de superfície gelada, constituída pelo continente antártico e pela banquiza fixa. Seu limite coincide aproximadamente com a isoterma de 0° na superfície do mar. Aí se instala um anticiclone permanente, cuja inversão superior é muito baixa, assegurando a essa massa notável estabilidade. Quando a massa quente superior emite correntes de ar para baixo, êste possuindo velocidade muito fraca, permanece durante intervalos de longo tempo em contacto com a superfície subjacente gelada, e a adaptação entre o ar e essa superfície é mais ou menos completa. Com essas características o ar é distribuído pela divergência anticiclônica, em tôdas as direções, mas sempre com desvio para oeste.

4 — *Massas Polares* — Originam-se na zona subantártica ocupada pelo "pack" e outros gelos flutuantes levados pelas correntes antárticas. Trata-se de uma zona de transição entre o ar polar e o tropical. Dessa zona partem os anticiclones subpolares que periódicamente invadem o continente sul-americano, com ventos de SW a W. Estas massas quase não possuem subsidência, o que permite a distribuição, em altitude, do calor e umidade colhidos na superfície quente do mar, aumentados à proporção que a massa caminha para o trópico. Em decorrência de sua temperatura baixa, chuvas mais ou menos abundantes assinalam sua passagem.

5 — *Massas Superiores* — São formadas nos níveis elevados dos centros de ação. Formam-se entre 900 a 2 000 metros nos anticiclones polares, contendo ar seco e aquecido pela descida, podendo atingir o solo, sobretudo no verão. Contudo, as mais importantes regiões de origem dessas massas parecem ser as zonas dos alísios, onde constituem as correntes quentes e secas das camadas superiores, ou seja, a subsidência dos anticiclones semifixos dos oceanos. Estendem-se sobre toda área ocupada pelos alísios de SE do Pacífico e do Atlântico sul, e sobre os alísios de NE do Atlântico norte, acima do nível compreendido entre 500 a 2 000 m. A origem de tais correntes superiores ainda não foi explicada. O certo é que sua existência, nessa ou naquela massa de ar, é um fator importantíssimo para as condições do tempo. Assegura ela bom tempo, e desde que desapareça, a instabilidade se realiza.

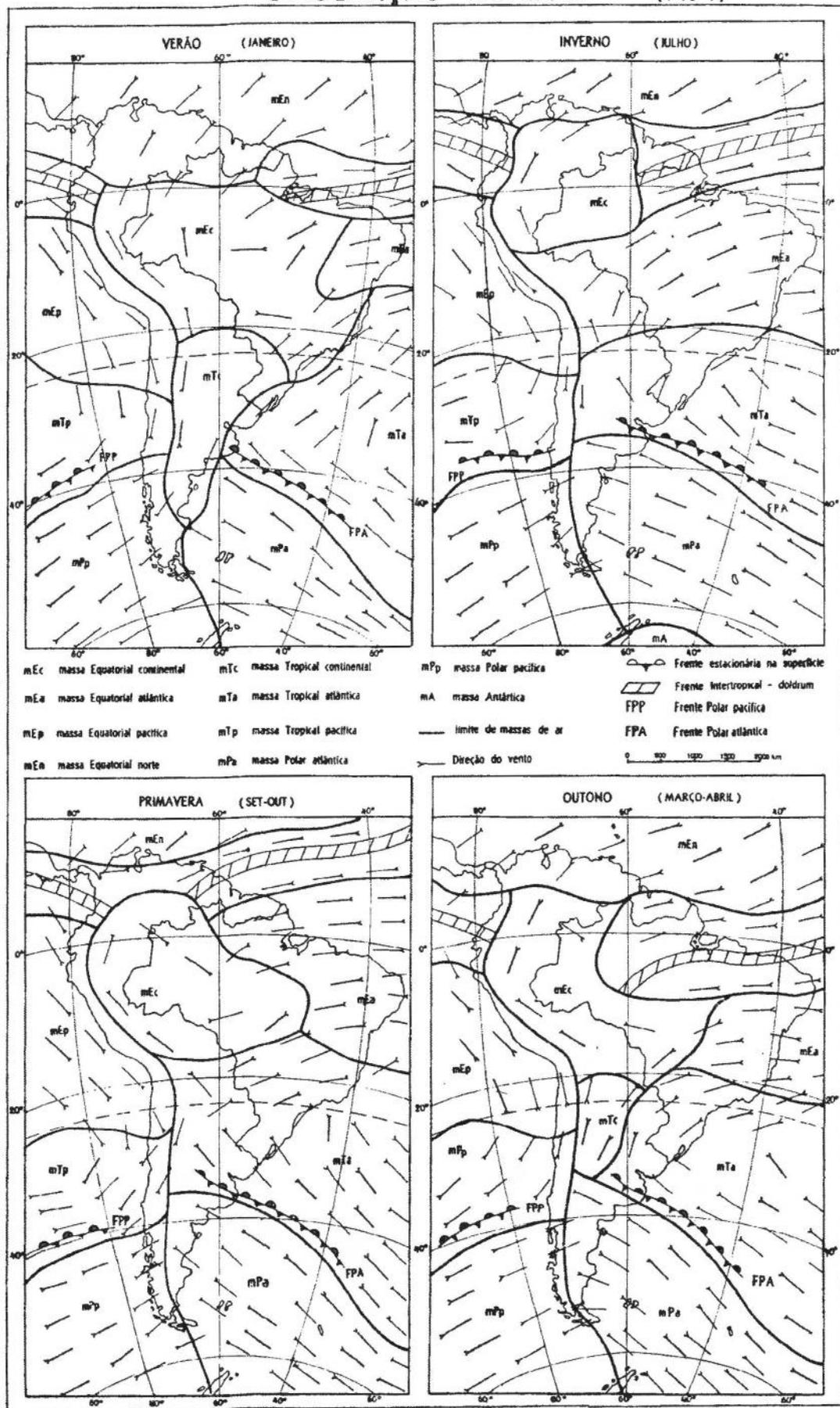
II — CIRCULAÇÃO NORMAL — DISTRIBUIÇÃO ISOBÁRICA E VENTOS *

1 — *Verão* (janeiro) — Nesta época do ano, em virtude do maior aquecimento do continente em relação ao mar, acham-se enfraquecidos o anticiclone semifixo do Atlântico e o anticiclone da Antártica. A depressão térmica continental (Baixa do Chaco) e a Depressão do Alto Amazonas, acham-se aprofundadas. Conseqüentemente as massas Ea e Ta tangenciam o litoral leste do Brasil com ventos (alísios) de SE e E, ao norte de 10° S e de NE a NW, desta latitude até a de 40° S. Parte destes últimos adquire componentes para o interior em torno à Depressão continental. O anticiclone antártico está muito ao sul (além de 65°), o mesmo sucedendo à faixa depressionária circumpolar, de onde partem as Frentes Polares, agora ao sul de 40° . Os alísios de NE do anticiclone do Atlântico norte (mEn), sob o efeito do grande aquecimento terrestre, são aspirados para o interior do continente, formando a "monção do verão" do norte do Brasil, esta fortalece a mEc a qual se estende por quase todo o nosso território sem, contudo, alcançar a Região Nordeste, que permanece sob domínio dos alísios de SE e E (mEa).

2 — *Inverno* (julho) — Nesta época não existe a Depressão continental, o que permite ao anticiclone do Atlântico, agora com pressão máxima, avançar sobre o continente. O anticiclone frio do Antártico tem suas pressões aumentadas,

* Vide Fig. 1.

CIRCULAÇÃO NORMAL (FIG 1)



enquanto a zona depressionária circumpolar alcança a latitude média de 35°. O anticiclone norte continua a tangenciar o continente, mas desaparece a monção da estação quente. Embora no litoral norte do Brasil seja muito acentuado o vento marítimo do hemisfério norte, sua penetração para o interior torna-se escassa. Conseqüentemente a mEc acha-se enfraquecida e limitada ao vale do Alto Amazonas que será assim a única zona instável durante todo o ano, ao sul do equador.

3 — *Primavera (outubro) e Outono (abril)* — Com exceção da zona equatorial nos oceanos e da costa setentrional do Brasil, a circulação nestas épocas é muito semelhante, e apresenta um aspecto intermediário entre as de janeiro (verão) e julho (inverno). A penetração dos ventos de Leste sobre o Brasil é bem maior que a de janeiro e menor que a de julho, representados sobretudo pela mTa, desde o Prata até as latitudes de 15° a 20°. Em latitudes inferiores os ventos de SE e E da mEa não conseguem penetrar muito para o interior, em virtude da barreira formada pelos ventos de oeste da mEc. Isto indica um domínio notável do anticiclone do Atlântico sobre o continente e uma posição mais setentrional, da Baixa da Amazônia (mEc).

Na zona equatorial, em setembro-outubro a faixa de calmas e os alísios de NE do hemisfério norte alcançam sua posição mais setentrional, enquanto que em março-abril eles se encontram na localização mais meridional. Daí se conclui que, nas latitudes mais elevadas o aspecto da circulação apresenta maiores diferenças nos solstícios, enquanto na zona equatorial aquelas ocorrem nos equinócios.

III — CIRCULAÇÃO SECUNDÁRIA

Vimos a distribuição isobárica e a circulação geral nas diversas épocas do ano. O conhecimento destes aspectos, embora fundamental para a compreensão do estado do tempo, não é o único. Periódicamente a circulação geral é perturbada pelo aparecimento de *frentes, ciclones e anticiclones móveis* que são, aliás, necessários à manutenção da mesma.

Na linha de choque entre duas massas de temperatura diferentes forma-se uma superfície de descontinuidade térmica que denominamos Frente. Uma frente ao longo da qual o ar frio substitui o ar quente, chama-se Frente Fria (KF); e aquela ao longo da qual o ar frio é substituído por ar quente, denominamos Frente Quente (WF). Quando o contraste das massas acarreta uma intensificação das frentes dizemos que estas estão em Frontogênese (FG); quando, ao contrário, elas entram em dissolução, ao fato chamamos de Frontólise (FL).

As frentes no hemisfério sul geralmente se estendem na direção noroeste-sudeste. Ao longo delas formam-se ciclones, que se deslocam segundo a mesma direção, no seio dos quais existem acentuada mudança do vento, chuva forte, nuvens baixas e escuras, visibilidade reduzida, forte turbulência e possibilidade da formação de granizo e trovoadas. São seguidas por chuvas finas e contínuas, para finalmente, sob o domínio do anticiclone polar, o céu se tornar limpo com declínio acentuado da temperatura.

Próximo ao tópo da "cúpula" de ar frio, o ar quente pode deslizar para baixo, o que além de produzir um aquecimento adiabático, torna a atmosfera mais seca.

Ao longo da WF, a exemplo da KF, o ar quente se desloca para cima seguindo a inclinação da superfície frontal, formando um extenso sistema pré-frontal de nuvens. A velocidade dessas frentes em geral é pouco maior que a metade registrada pelas frentes frias. As frentes quentes não se caracterizam tão bem como as frias, pois a chuva quente aquece e umedece o ar frio através do qual cai, alterando grandemente num tempo relativamente curto as características físicas da massa de ar frio.

FRENTE POLAR

As massas que deixam o continente antártico (anticiclones móveis) penetram nos oceanos onde se aquecem e umedecem rapidamente. Com o desaparecimento da subsidência, elas se tornam instáveis e, com tal estrutura, invadem o continente sul-americano, entre os dois centros de ação, do Pacífico e do Atlântico, seguindo duas trajetórias diferentes condicionadas pela orografia: a primeira, a oeste dos Andes, e a segunda, sob a forma de grandes anticiclones, a leste dessa cordilheira.

Na primeira trajetória, a oeste dos Andes, os ventos frios da massa Polar no encontro com os ventos quentes da massa Tp constituem uma zona de FG denominada Frente Polar Pacífica. No verão essa trajetória é muito comum, pois, com o enfraquecimento do anticiclone do Pacífico e o afastamento inicial da FPP do continente americano, o ar polar encontra menor resistência em sua marcha para o norte. Já no inverno, com o anticiclone do Pacífico avançado para o litoral e a FPP sendo muito mais ativa, as massas frias percorrem de preferência as zonas a leste da cordilheira, depois de transpô-la em sua extremidade meridional, seguindo novo percurso.

Neste, que será a segunda trajetória seguida pelo ar polar, a descontinuidade térmica oriunda do encontro entre os ventos frios da massa Polar com os quentes do sistema tropical, constitui a Frente Polar Atlântica (FPA) que nos interessa diretamente. Condicionado pelo contraste térmico (continente-oceano) e pela orografia, essa frente divide-se em dois ramos que seguem caminhos distintos: o da depressão geográfica continental (Chaco), a oeste do Maciço Brasileiro; e o do oceano Atlântico, a leste deste Maciço. Em ambos os caminhos para o equador — o continental e o oceânico — são notáveis o aquecimento inferior, e o aumento da umidade, sobretudo no verão.

Pelo litoral, isto é, pelo seu *ramo marítimo*, a FPA se desloca para nordeste com ondulações ciclônicas, sobretudo no mar. A partir de 15°S de latitude aproximadamente, tais frentes, em contacto com os alísios, de SE, perdem sua nitidez pela incorporação ao anticiclone semifixo do Atlântico.

No inverno, em virtude do forte gradiente térmico equador-polo, é muito mais vigorosa a circulação secundária, as massas frias atingem mais facilmente os alísios de SE (lat. 10°S) podendo, por vezes, alcançar latitudes mais baixas (Recife). Na primavera, atingem geralmente o trópico de Capricórnio, São Paulo-Rio, podendo cobrir o norte capixaba. No verão, em virtude do forte aquecimento do continente, a energia frontal é geralmente muito fraca, e o ramo marítimo da frente toma, via de regra, uma orientação NE-SW sobre o oceano, raramente ultrapassando o trópico. No outono as condições de FG já são mais favoráveis, e a FPA normalmente ultrapassa aquele paralelo; no entanto, a convergência intertropical (a qual estudaremos posteriormente), nesta época impelida para o hemisfério sul, impede um maior avanço da FPA para as latitudes baixas.

Pelo interior, isto é, pelo seu *ramo continental*, o avanço da FPA também varia latitudinalmente conforme a época do ano.

Durante o inverno, quando as condições de FG são mais acentuadas, os avanços tornam-se mais vigorosos, atingindo comumente o norte de Mato Grosso (lat. 8°S), podendo, não raro, alcançar o Alto Amazonas, provocando, em casos excepcionais de grande intensidade, a chamada "friagem". Esta consiste numa invasão, durante o inverno, de vigoroso anticiclone frio de massa polar, cuja trajetória ultrapassa praticamente o equador. O fenômeno, conforme diz A. Serra, apresenta-se notável, não só pela sua raridade, como também pela extraordinária queda de temperatura que acarreta, muito prejudicial aos moradores habituados ao aquecimento da região. Na primavera suas incursões, embora raras, podem atingir a latitude de 10° em Mato Grosso. No verão, o forte aquecimento da região do Chaco impede, geralmente a passagem de ar polar para

as latitudes baixas. Durante o outono o comportamento da circulação secundária proveniente do polo é muito semelhante ao da primavera, como transição entre o quadro dinâmico do verão e inverno.

Necessário se torna dizer que, somente quando há duas passagens frontais sucessivas no sul do Brasil, a FPA consegue ultrapassar o trópico, o que ocorre comumente no inverno, e raramente no verão; isto porque, embora sob a influência da frente polar, a região do Chaco se tenha resfriado, a intensa radiação nesta época logo se faz sentir restabelecendo a Baixa local, e dificultando assim o suprimento do ar polar no Brasil.

Enquanto a FPA é impedida de seguir o caminho da depressão geográfica do Chaco, seu ramo marítimo prossegue no percurso para o norte até o paralelo de 22° aproximadamente. Aí estaciona em média um a dois dias, para em seguida sofrer FL e recuar como WF, provocando chuvas persistentes no sudeste do Brasil, até desaparecer no oceano. Enquanto isso, o anticiclone do Atlântico volta a dominar a costa e caminha para oeste à medida que a Baixa do Chaco se restabelece, retornando toda circulação ao seu quadro natural.

Antes, contudo, da circulação se ter normalizado, o ar frio, que estivera estacionado no trópico, é injetado no centro de ação constituindo um *reforço* do alísio. Este, *renovado*, avança para a costa do Nordeste sob a forma de *Frentes Tropicais*, produzindo as perturbações cognominadas *ondas de leste*.

Enquanto isso acontece no litoral, na zona interior só indiretamente a FPA acarreta resfriamento. Nesta região o aquecimento continental eleva o ar polar, sendo este transportado pelas correntes de SW da Alta superior (massas superiores) para o norte. Isto *renova* a instabilidade da mEc, cujas trovoadas são mais devidas ao ar frio superior que ao próprio aquecimento superficial, que é contudo indispensável.

Ao lado das ondulações e mobilidade da FPA devemos ainda considerar seu desdobramento em frentes complementares. Quando a FPA, após ter avançado no sul do Brasil, vem a estacionar ou recuar como WF, forma-se uma descontinuidade no trópico, denominada *Frente Polar Reflexa* (FPR). Esta traduz a separação entre o ar polar, já modificado (massa Polar Velha) pela mistura com o ar tropical, e o ar tropical marítimo. Esta frente induzida mantém-se sempre mais ligada ao litoral do que ao interior. Sendo um reflexo da frente principal, sua existência acusa marcado contraste com as condições daquela. Quando a frente principal (FPA) entra em FG, a frente complementar (FPR) sofre FL, recua em sua direção ou mesmo se dissolve. Quando, ao contrário, a FPA está em FL, a FPR entra em FG.

Uma vez constituída a FPR, ela progride para norte, no máximo 15 a 20 quilômetros, sempre que nova FG ocorre no Prata, com FPA localizada nesta região.

Na FPR as precipitações se devem mais à convergência e divergência que propriamente à ascensão frontal.

Quando a FPA avança sob a forma de KF intensa, alcançando o Rio Grande do Sul a FPR desaparece, acarretando forte limpeza pré-frontal no trópico.

CONVERGÊNCIA INTERTROPICAL (CIT)

Outra região frontogenética é a zona equatorial. Aí, da convergência dos aliseos dos dois hemisférios resulta uma descontinuidade térmica denominada *Convergência Intertropical* (CIT). A ascensão conjunta do ar na CIT produz uma faixa de calmas denominadas *doldrum*, zona de aguaceiros e trovoadas.

A posição dessa convergência varia com o movimento geral do Sol na eclíptica. Em virtude da sua grande área continental o hemisfério Norte é mais quente em média que o Sul. Por esse motivo, a CIT se encontra na maior parte do ano sobre o primeiro. Em julho o resfriamento do hemisfério Austral mantém a CIT cerca de 10°N. Em janeiro o resfriamento do hemisfério Boreal consegue deslocá-la para o Austral, mas a massa de ar deste último, pouco aquecida mesmo

no verão, detém a CIT pouco abaixo do equador. Suas posições extremas se dão no fim do verão e no inverno, quando é maior a diferença de temperatura entre os hemisférios (março-abril para o hemisfério Sul e setembro-outubro para o Norte).

A orientação da CIT não é também sempre a mesma. Esta depende da posição dos anticiclones. Na maior parte do ano ela mantém orientação zonal (E-W). Entretanto, de janeiro a abril, em virtude do traçado dos continentes, o anticiclone do Atlântico Sul fica muito a leste do núcleo dos Açores o que força a CIT a um movimento de rotação que a orienta no sentido NE-SW. Esta última posição é a responsável pelos pequenos totais pluviométricos do Sertão do Nordeste, justamente na época da sua estação chuvosa (fim do verão e princípio do outono).

TROUGHS OU LINHAS DE INSTABILIDADES TROPICAIS (IT)

Outros fenômenos que merecem apreciação na circulação secundária são os chamados linhas de *Instabilidades Tropicais*. Nestas, o ar em convergência pode acarretar chuvas caso o ar seja convectivamente instável. Tais fenômenos são comuns no Brasil, separando no litoral, dorsais da massa Tropical, e no interior, da massa Equatorial continental. Sua origem está ligada principalmente ao movimento ondulatório que se verifica na FG da FPA, onde a sucção do ar quente do quadrante norte, em contacto com o ar frio polar, dá origem a ciclones a partir dos quais surgem *instabilidades tropicais* praticamente normais à KF.

As IT se propagam precedendo à KF, por vezes, 1 000 quilômetros, anunciando sua chegada com a formação de altos cúmulos e cirrus, que se deslocam em correlação à KF. Os avanços da FPA para norte impõem as IT para leste, voltando para oeste assim que a FPA estaciona no trópico, dissolvendo ou recuando como WF. Caso as IT estejam diretamente ligadas à FPR, seus deslocamentos se efetuam para leste e posteriormente para sul, quando aquela é dissolvida por nova FG na FPA.

Dentre as IT devemos destacar aquelas que se formam no setor oriental do Brasil. A primeira divide, em altitude, o centro de ação do Atlântico, com orientação N-S ao longo dos meridianos de 45° a 40°, sendo mais freqüente no verão e raro no inverno, geralmente limitado ao norte pelo paralelo de 15° aproximadamente.

Quando a FPA inicia o seu avanço para o trópico sob a forma de KF, surge uma IT estendida N-S a 6 quilômetros de altitude, e caminha para leste, mergulhando no oceano à medida que avança a KF, antecipando-se à mesma pelo menos 24 horas. Com o recuo da KF esta IT se desloca para oeste, podendo provocar chuvas no litoral leste e sudeste, que são as zonas mais atingidas pelos efeitos de tais fenômenos. A segunda IT é também de caráter semi-permanente e sua faixa de ação é o litoral oriental do Nordeste, cuja descrição será feita simultaneamente com as chamadas *ondas de leste*.

ONDAS DE LESTE (EW)

Vimos que a massa Ea possui duas camadas: a inferior, fresca e úmida, e a superior, quente e seca, separadas por uma inversão de temperatura que assegura estabilidade. Vimos também que no litoral do Nordeste esta inversão desaparece, dando lugar a uma IT que costuma aí dividir o centro de ação do Atlântico em duas dorsais — a de leste e a de oeste.

Na IT a convergência do ar acarreta instabilidade, mas nem sempre chuvas, em virtude da elevada temperatura. Estando a FPR localizada no Estado do Rio, já no litoral do Nordeste a IT produz uma EW. Tal formação é mais ou menos fixa e persiste cerca de dois dias na costa, com ventos de SE, céu encoberto

e chuvas contínuas, que não ultrapassam a Borborema, ficando o interior sob a divergência da dorsal de oeste com nebulosidade 6-8 de estratos-cúmulos.

Assim que uma nova FPA chega a São Paulo, a EW se dissolve, e os ventos voltam à direção E-NE (circulação normal), e a temperatura cai. O estacionamento da KF no trópico e a conseqüente formação da FPR provoca novas EW. Se a própria KF avançar até a Bahia acarreta aquecimento na costa do Nordeste, o que resulta em frontólise da EW.

A passagem da KF até o Rio Grande do Sul (principalmente com estacionamento) provoca forte instabilidade e chuvas de IT no litoral do Nordeste, porém as típicas EW ocorrem quando há formação de FPR no Estado do Rio. Como a KF raramente alcança o trópico no verão, mais comumente atingindo-o no inverno, as *ondas de leste* são mais freqüentes nesta última estação. Se a KF avança pelo interior até Mato Grosso as EW se deslocam para leste, acompanhando o recuo do anticiclone para o oceano.

IV — ALGUNS ASPECTOS DA CLIMATOLOGIA DINÂMICA

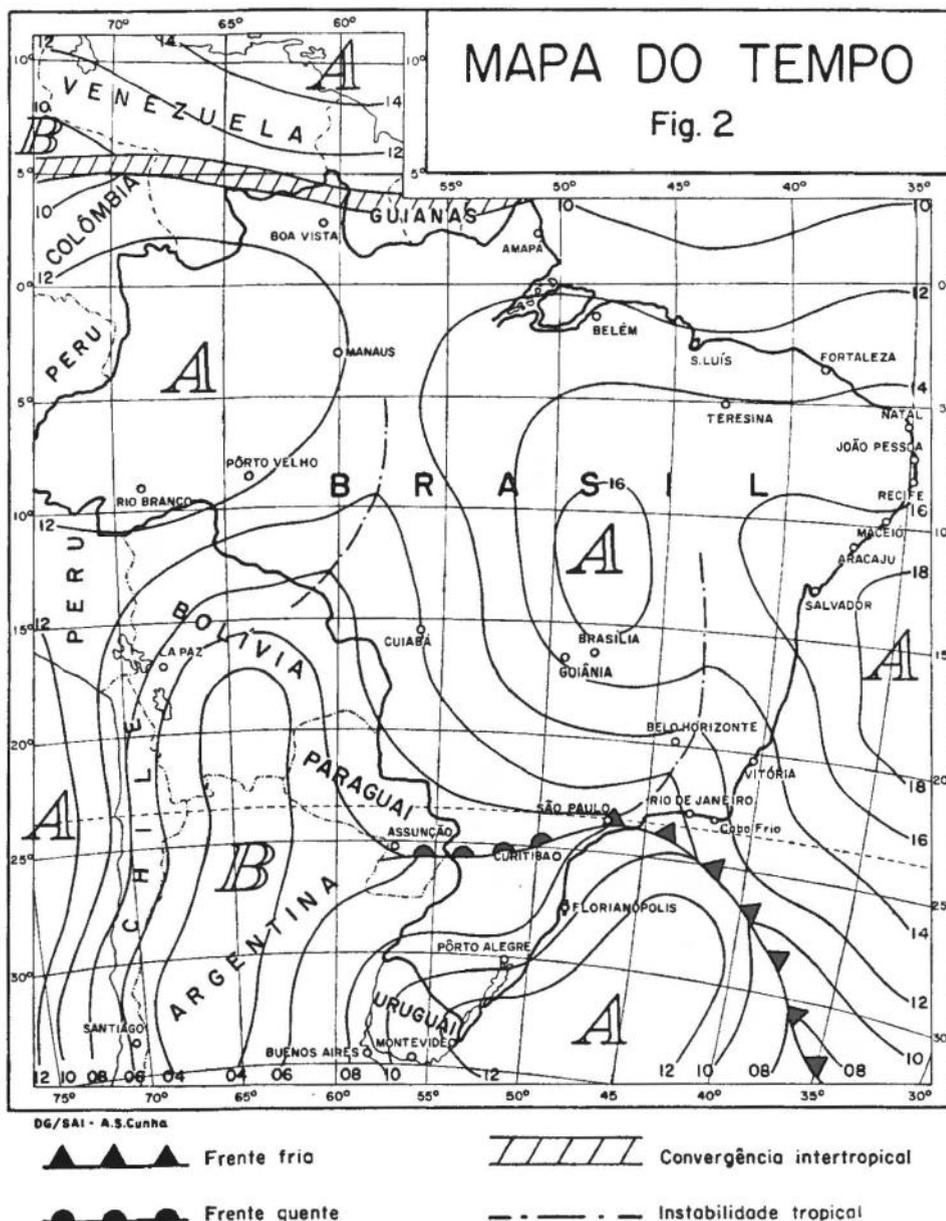
Dissemos no princípio dêste trabalho que os estudos de massas de ar são hoje os princípios básicos da climatologia. Daí a denominação de Climatologia Dinâmica ao ramo dessa ciência a suceder a Climatologia Física e a Bio-Climatologia. Entretanto as análises das massas de ar devem aqui ser compreendidas no seu sentido mais amplo, abrangendo ainda as Frentes, os ciclones e e anticiclones móveis, e demais fenômenos dinâmicos, ou seja, o estudo da circulação atmosférica.

Podem parecer aos menos avisados que Climatologia Dinâmica e Meteorologia constituem uma única ciência. Entretanto, entre elas a distinção é bastante grande, não apenas entre seus métodos de investigação como também nos objetivos e resultados alcançados. Enquanto o meteorologista se interessa por massas de ar e frentes como problemas individuais que êle tem que enfrentar em seu trabalho diário, o climatologista dinâmico, conforme define BERGERON, os usa como instrumentos para explicar os fenômenos climáticos persistentes. Êle não está, como o meteorologista, interessado em nenhum ciclone individualizado, mas sim na persistência de certos tipos de ciclones ou de frentes, em suas tendências a seguir certas trajetórias e em suas diferenciações ou analogias de uma região para outra. Em suma, está interessado em outra feição da circulação atmosférica: compreender o porquê de certos anos serem mais úmidos ou mais frios que outros. Esta questão somente pode ser respondida pelos métodos da Climatologia Dinâmica, não podendo à mesma responder a Meteorologia, nem mesmo a Climatologia Física ou a Bio-Climatologia.

A análise da Climatologia Dinâmica de uma região é levada a efeito pela inspeção de cartas sinóticas da região, que cubram maior periodo de tempo possível. Dessa inspeção são anotadas as seguintes informações:

1 — um sumário da classificação, propriedades e regiões de origem das massas de ar que afetam a região. Êste sumário em geral é desdobrado em:

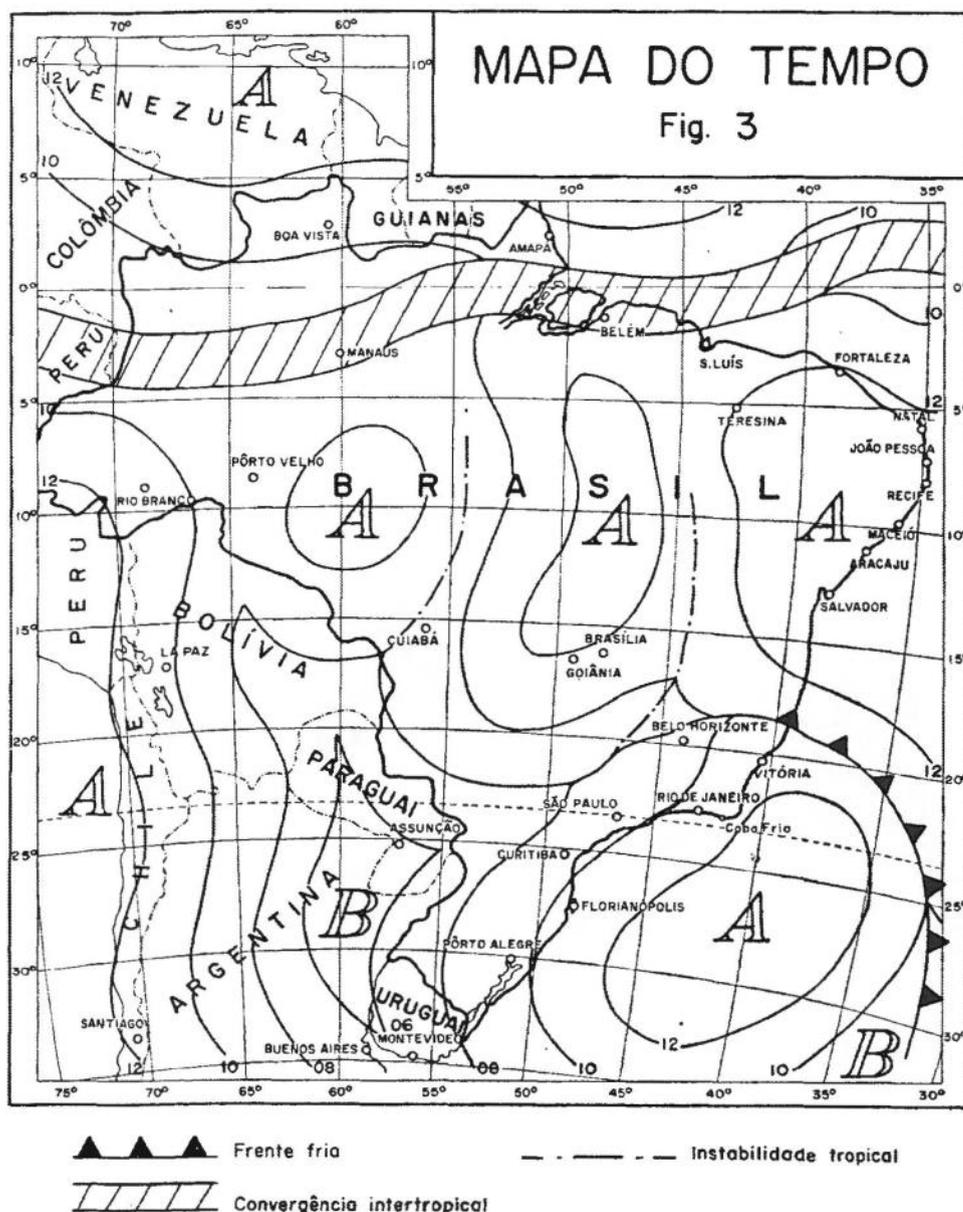
a) estudo das freqüências de cada massa de ar expressa em porcentagem do tempo que cada uma está presente sobre a região, para pelo menos 4 meses ao ano. Levando em conta a posição do Sol em relação à Terra, são escolhidos por convenção, janeiro, abril, julho e outubro, meses cujas condições de circulação atmosférica são mais afetados pelos solstícios e equinócios. Os gráficos de Circulação Atmosférica que apresentamos nesse trabalho são um exemplo,



ainda que nêles não estejam as freqüências de cada massa de ar representadas em percentagem, e sim, apenas a predominância desta ou daquela massa:

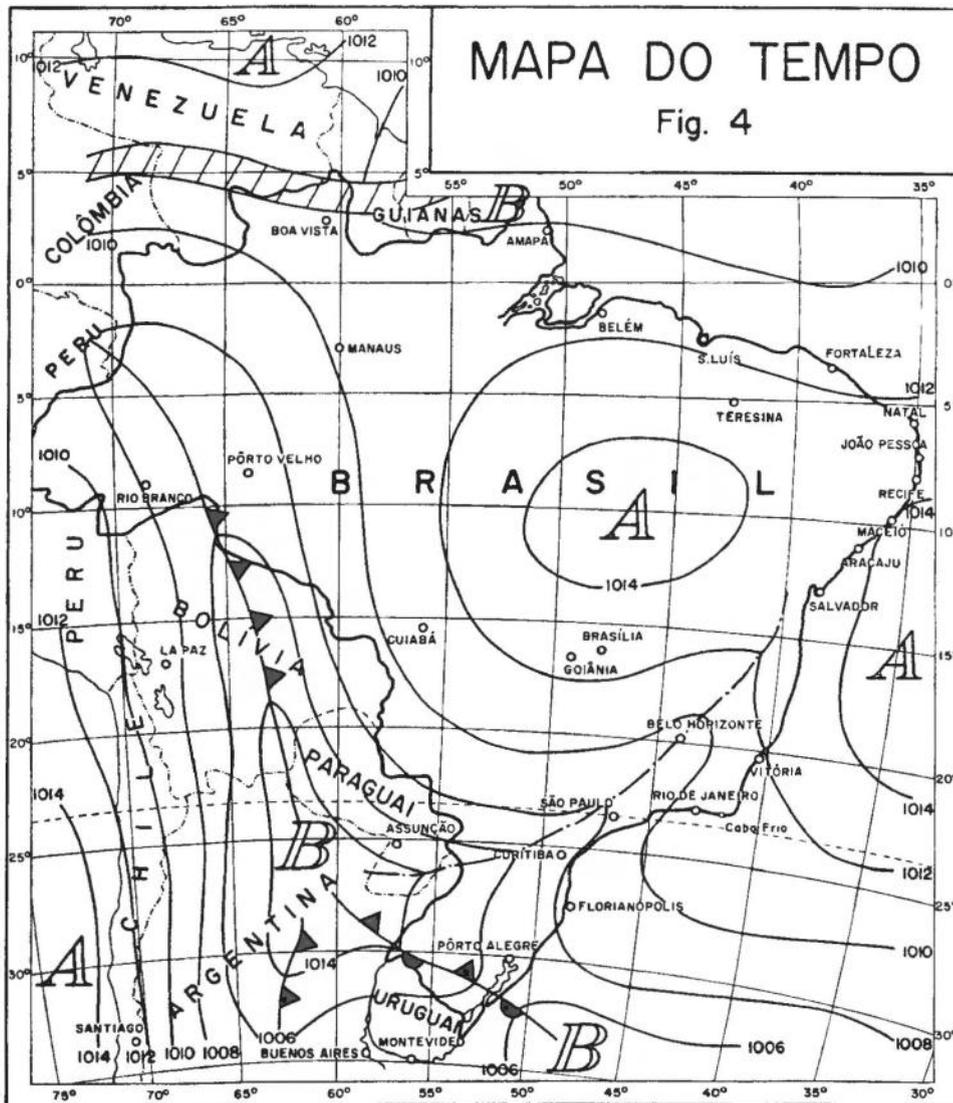
b) estudo das propriedades, as quais são melhor expressas em mapas de isocietas, de número de dias de chuva, mapas de temperaturas mensais e diurnas (médias e amplitudes) e outros elementos significativos, para os quatro meses citados, sempre correlacionando à situação dinâmica da atmosfera daqueles momentos e períodos observados.

2 — Trajetórias dos ciclones, anticiclones e frentes que afetam a região, com a observância das modificações das massas de ar e precipitação, períodos de seca e períodos de chuva associados a êsses deslocamentos e observados para os quatro meses padrão.



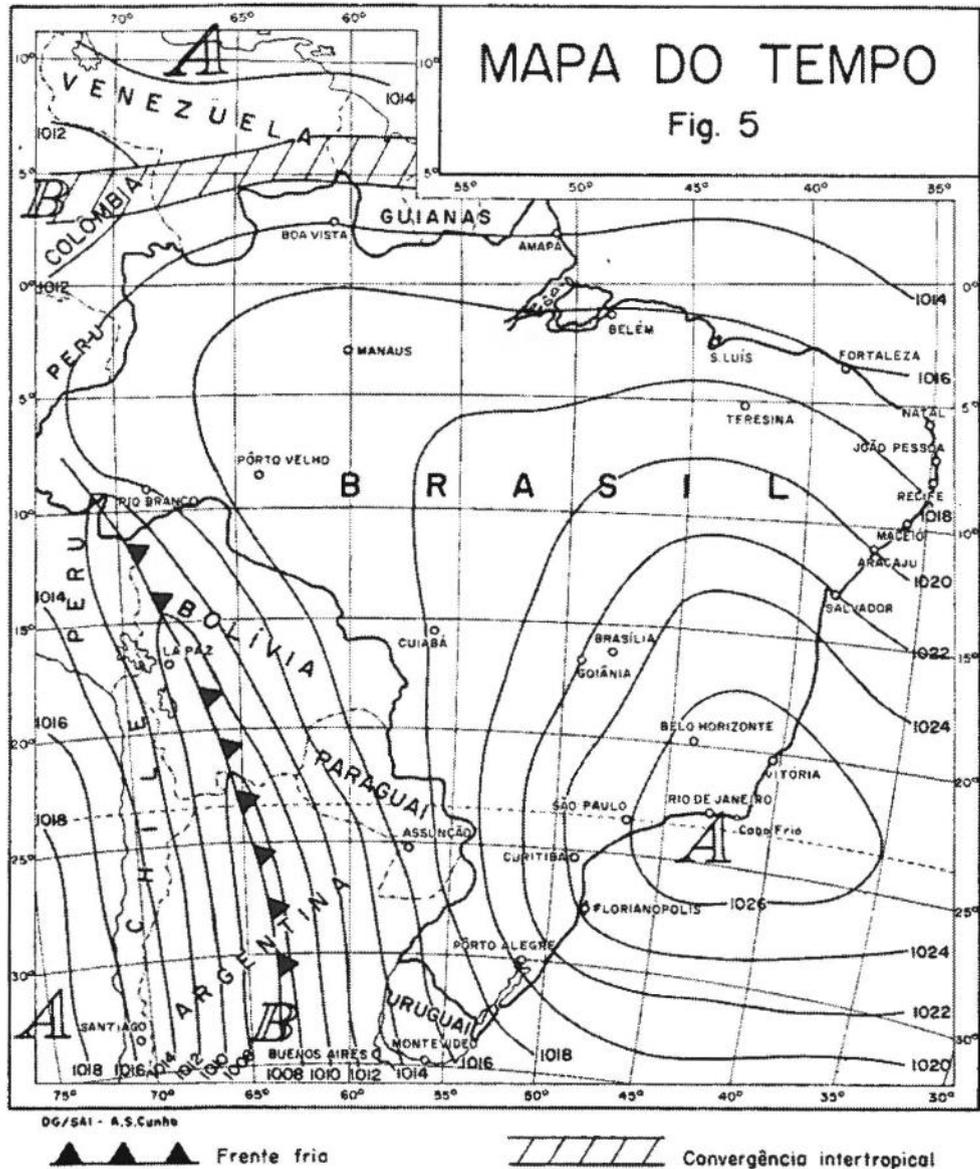
Nas figuras de 1 a 9 pretendemos dar exemplos de algumas situações de tempo no Brasil que são representativas das freqüências observadas de alguns desses elementos para os quatro meses padrão.

Verão — A Frente Fria após avançar até o trópico, tem sua atividade declinada e entra em dissolução. Inicialmente no interior, impedida, pela Baixa do Chaco, onde seu ramo continental recua como Frente Quente, mantendo-se a instabilidade nos Estados do Sul. Enquanto isso, no interior surgem linhas de Instabilidades Tropicais e trovoadas esparsas nas áreas por elas atingidas. A CIT permanece no hemisfério setentrional, distante do litoral norte (Fig. 2). Nesta época, dificilmente a Frente Fria consegue ultrapassar o trópico e alcançar o litoral baiano. Entretanto, mesmo quando isso acontece normalmente seu

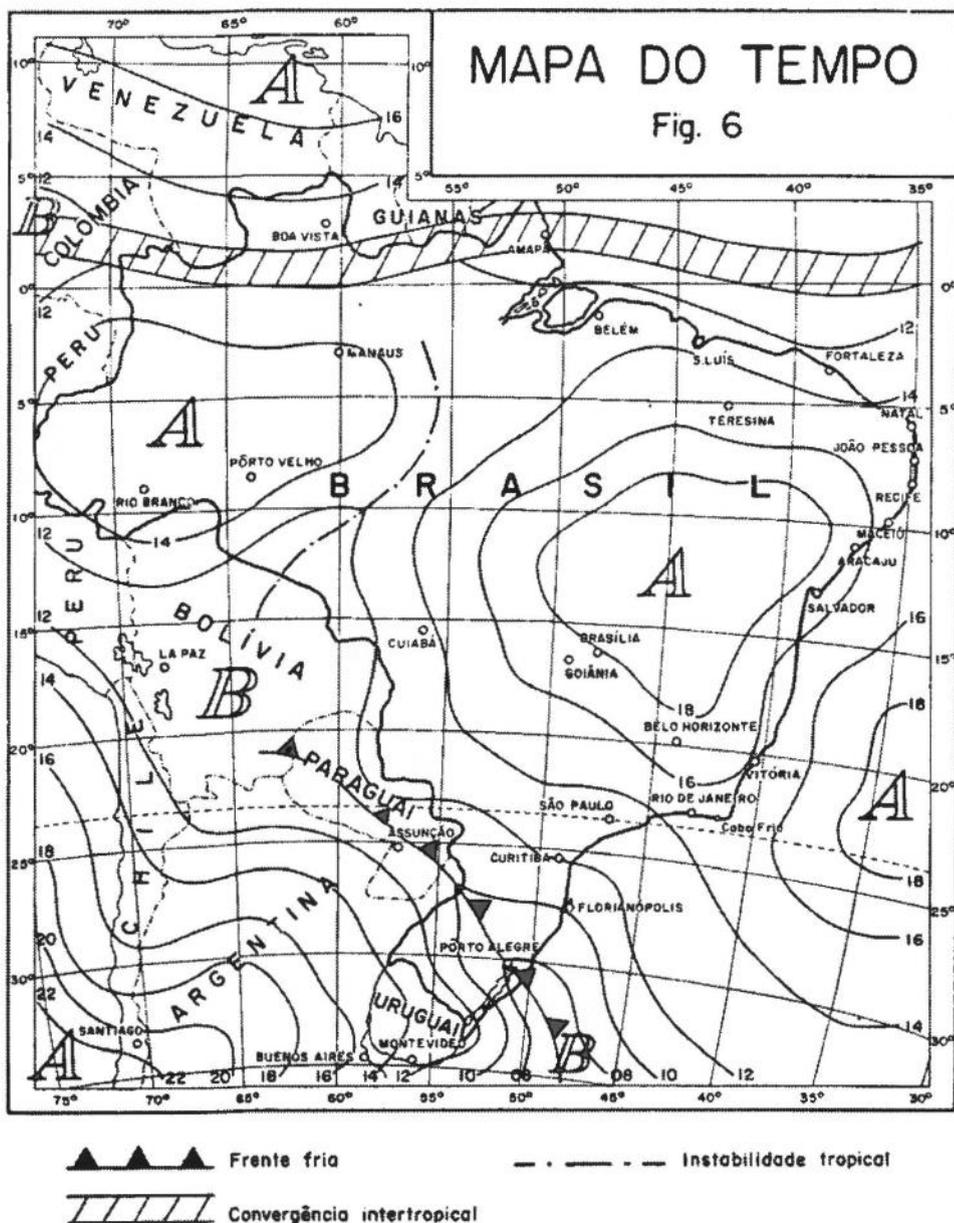


- | | | | |
|-------|---------------------|-------------|----------------------------|
| ▲▲▲▲▲ | Frente estacionária | // // // // | Convergência intertropical |
| ▲▲▲▲▲ | Frente fria | - - - - - | Instabilidade tropical |

ramo continental não consegue alcançar latitudes baixas. Este, após recuar como Frente Quente, é absorvido pela Baixa do Chaco, muito intensa nessa estação. Enquanto isso, IT induzidas na massa Ec, e entre esta e a massa Ta acarretam instabilidades com trovoadas e chuvas esparsas. O notável avanço da Frente Fria, mantendo orientação E-W, provoca a descida da CIT até o litoral Norte e Amazônia com chuvas ao longo da massa (Fig. 3). Se a Frente Fria não tiver muita energia e ficar estacionada no Rio Grande do Sul, a partir dela, formam-se IT como mostra a Fig. 4, quando um destes fenômenos se estende de Assunção a Salvador, dividindo a massa Tropical em dois núcleos, tendendo a alcançar o litoral do Nordeste. Assim, enquanto nas convergências polar e da IT ocorrem chuvas, no interior, sob massa Tropical o tempo permanece sêco e a CIT não desce para o hemisfério Meridional.

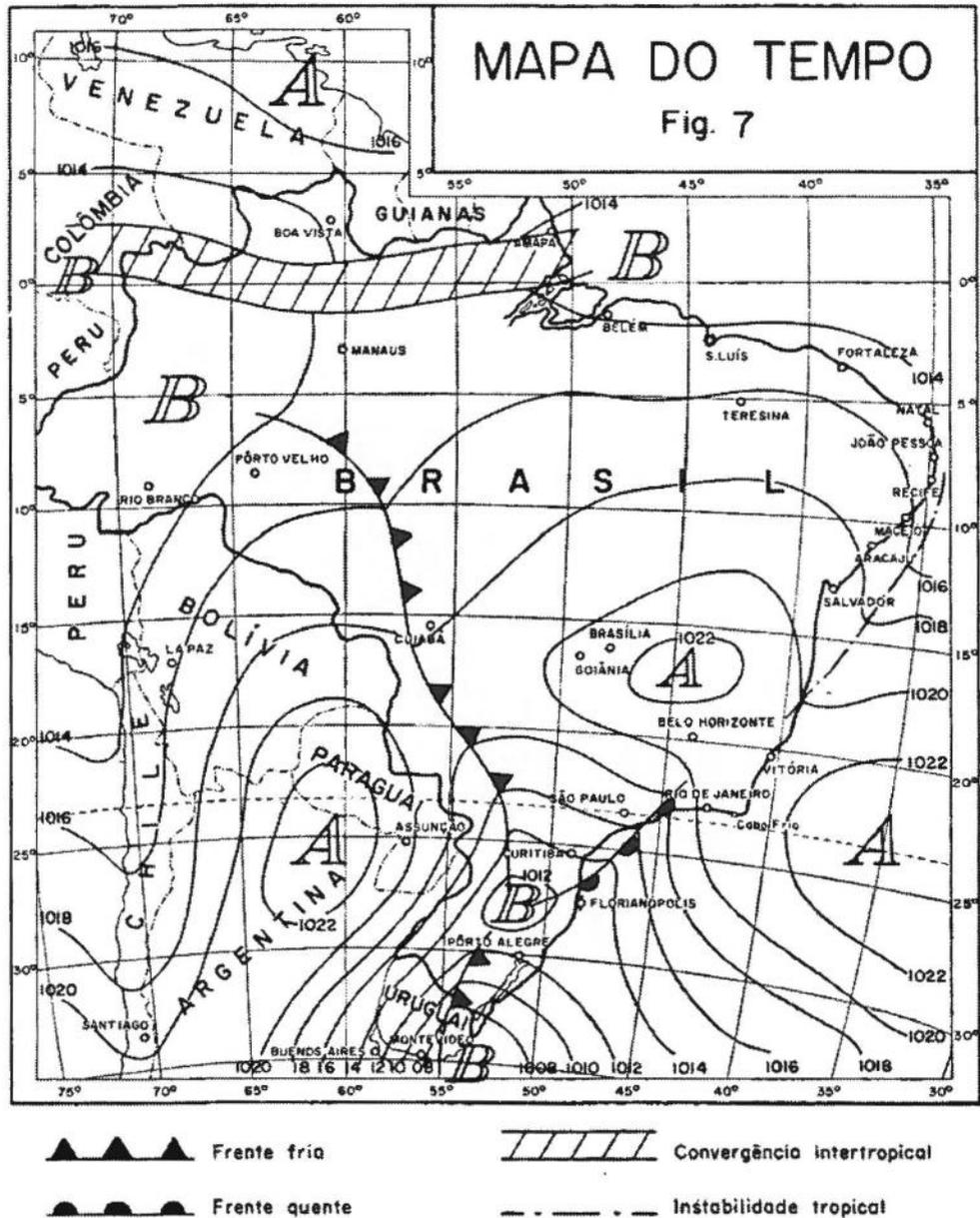


Inverno — Com a Frente Fria distante, o anticiclone do Atlântico Sul (formador das massas Ta e Ea) domina quase todo o país, mantendo o tempo bom com nevoeiros pela manhã, enquanto a CIT mantem-se no hemisfério Norte (Fig. 5). Mas logo que a frente fria alcança o Rio Grande do Sul o anticiclone do Atlântico começa a ser dividido (Fig. 6), para finalmente, fragmentar-se no litoral do Nordeste onde surge uma IT assim que forma um ciclone no Rio Grande do Sul (Fig. 7). Nesta época a Baixa do Chaco acha-se bastante enfraquecida e freqüentemente absorvida pela massa Polar, cujo anticiclone, por vêzes, leva a Frente Fria a atingir o litoral do Nordeste para logo a seguir entrar em oclusão, quando a CIT, que se achava no hemisfério Norte, muito afastada, desce à costa Norte, o que raramente ocorre no inverno (Fig. 8).

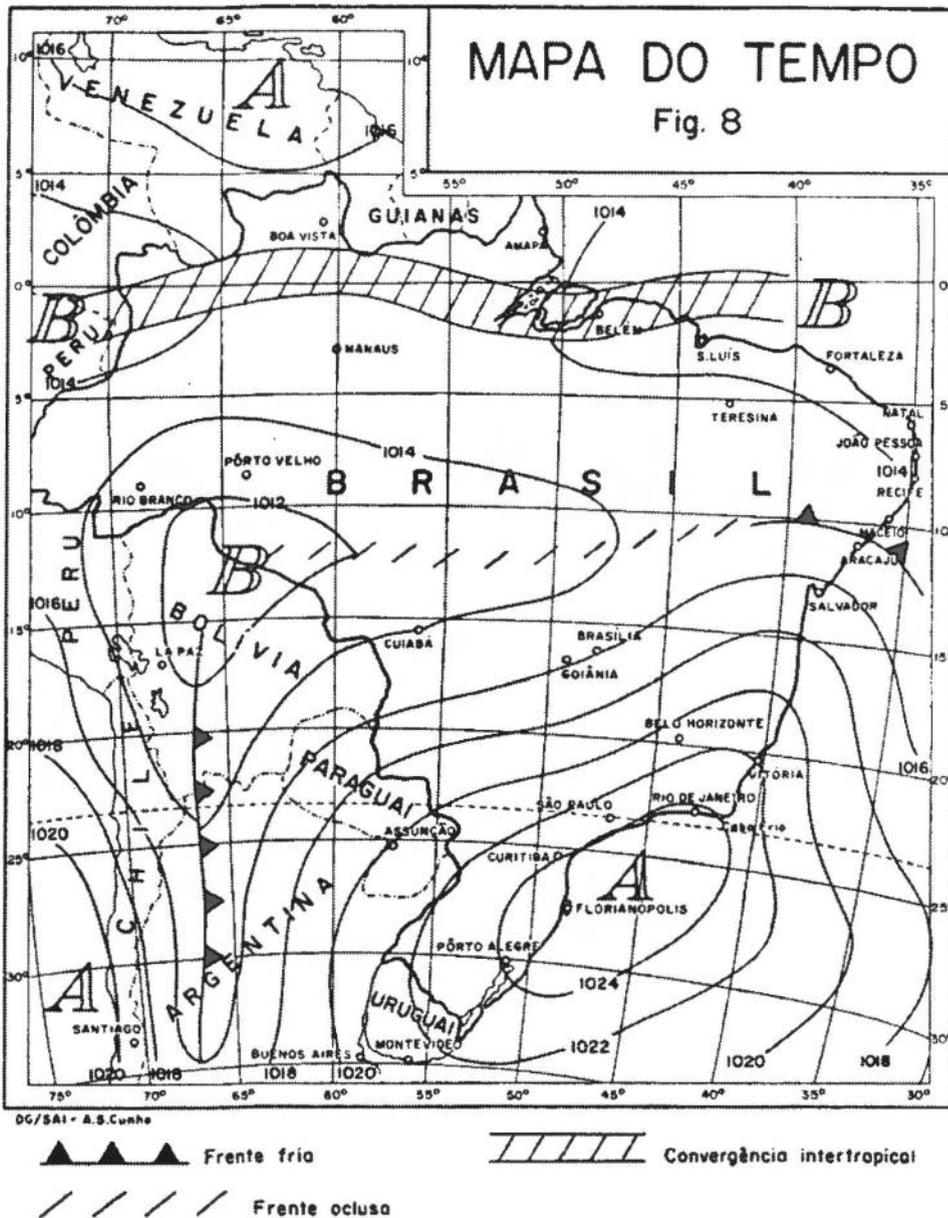


Primavera e Outono — Na primavera, mesmo quando a Frente Fria alcança o Estado da Bahia, não é suficiente para trazer a CIT ao litoral Norte, isto porque nesta época a referida frente se acha em sua posição mais setentrional (Fig. 9). Enquanto que no outono o estacionamento da Frente Fria no Rio Grande do Sul é o suficiente para atrair a CIT para o litoral Norte, uma vez que nessa época sua posição média é a mais meridional (Fig. 10).

3 — Finalmente, com bases nas observações dos fatos dinâmicos podemos fazer uma repartição do ano em estações que podem dar resultados que diferem de uma repartição baseada apenas em considerações de ordem física. Ajudam-nos a explicar muitos fenômenos climáticos que são inexplicáveis sem uma



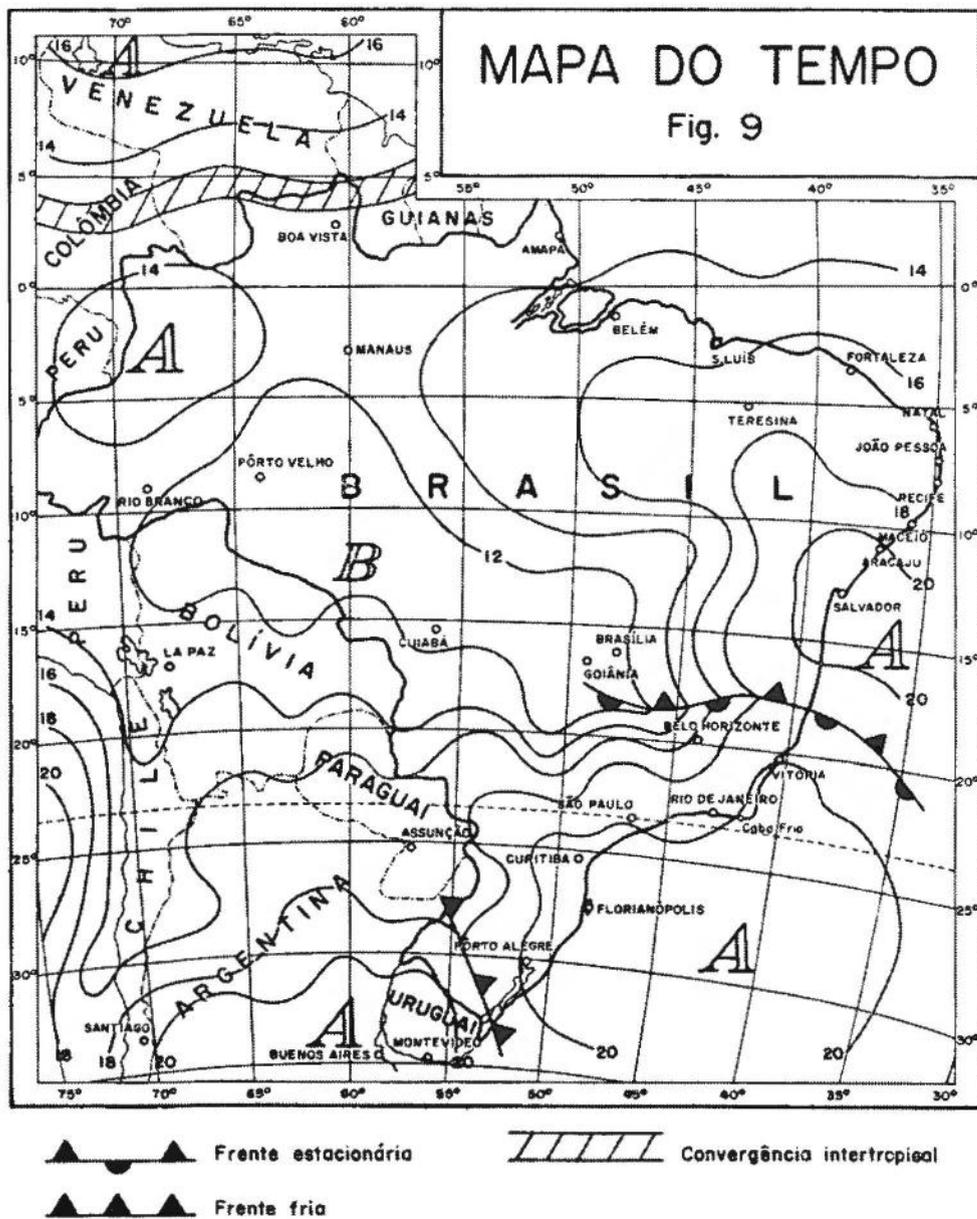
análise da circulação. Por exemplo: a existência de estação seca relativamente curta no Nordeste do Brasil na encosta leste da Borborema, enquanto no Sertão a estação seca é muito longa; a inexistência de estação seca curta ou muito curta no litoral oriental do Brasil enquanto o Planalto experimenta um período de seca prolongada; o fato de no Brasil entre os paralelos de 5° a 16°, principalmente, o clima após ser mais úmido no litoral, torna-se semi-árido no Planalto, para novamente registrar-se úmido na região mais interiorizada a partir do meridiano de 50° aproximadamente. O relevo, a latitude e a continentalidade por si só não explicam. As respostas só podem ser encontradas após o estudo dos fenômenos dinâmicos: massas de ar, anticiclones, Frentes, ciclones, insta-



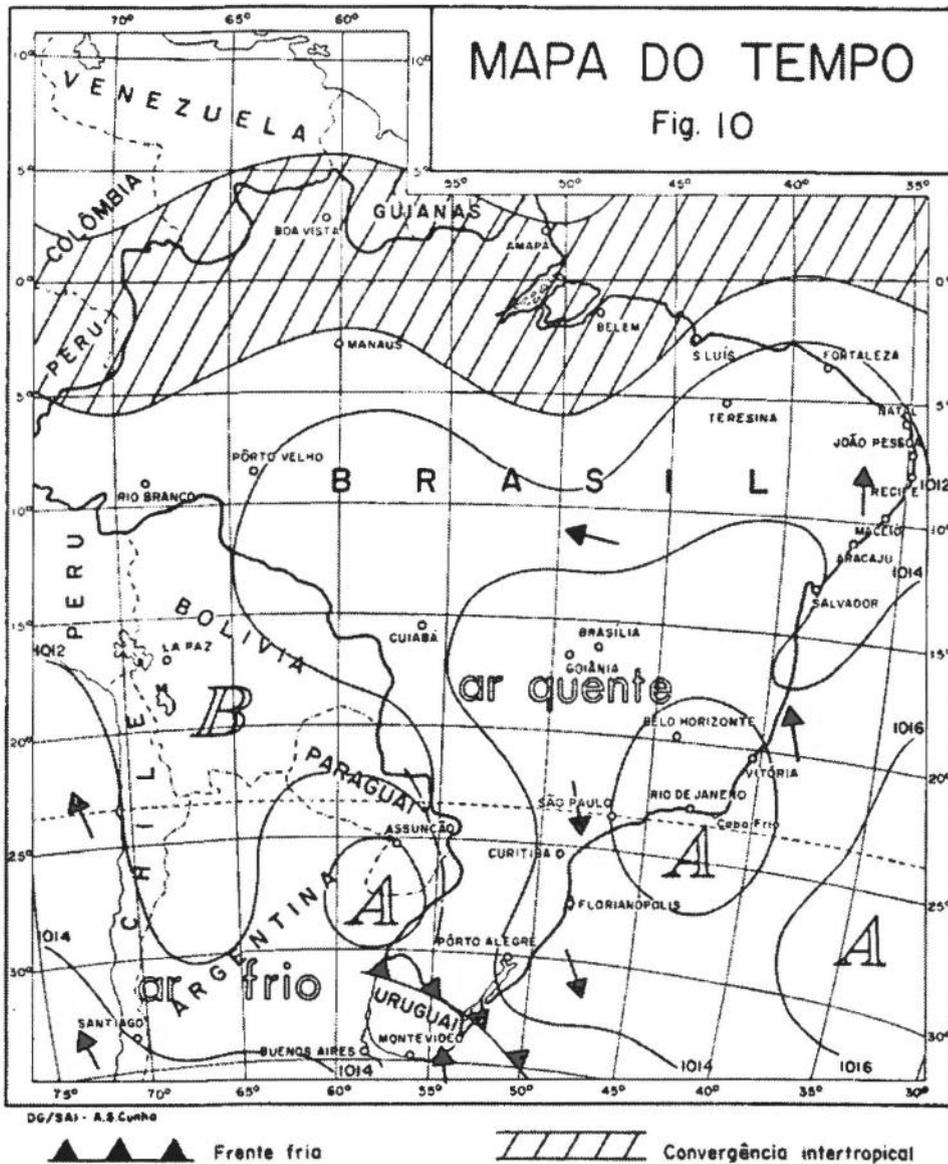
bilidades tropicais, etc., cuja atuação, não apenas é maior ou menor para as diversas regiões, como também sofre variação de intensidade no decorrer do ano em épocas diferentes para cada fenômeno. O relêvo, a latitude e a continentalidade são fatores geográficos que complementam o fator mais importante — a circulação atmosférica.

CONCLUSÃO

Para o previsor do tempo a Climatologia Dinâmica é Climatologia. Isto poderia como geógrafos levantar-nos suspeitas. Poder-se-ia até argumentar que



“climatologia dinâmica” nada mais é que um novo nome para a meteorologia sinótica, construção e análise dos mapas sinóticos do tempo. Entretanto este seria um argumento sem profundidade, uma vez que o previsor de tempo se interessa por massas de ar e frentes como problemas individuais que ele tem que enfrentar em seu trabalho diário, enquanto que o climatologista dinâmico, conforme o define BERGERON, os usa como instrumentos para explicar os fenômenos climáticos persistentes. Ele não está interessado em nenhum ciclone individualizado, mas sim na persistência de certos tipos de ciclone, na sua tendência em seguir certas trajetórias e na sua diferenciação de uma região para outra. Portanto, está ele interessado em outra feição da circulação atmosférica. A questão porque um ano é mais úmido que outro somente pode ser respondida por esses métodos.



Chegamos agora ao ponto em que podemos decidir se este ponto de vista em relação à climatologia deve despertar a atenção dos geógrafos.

Para solução desse problema nos parece necessário aventar duas questões: A Climatologia Dinâmica é de alguma maneira uma parte da Geografia? Seus métodos e resultados podem ser de interesse e úteis ao geógrafo?

Com relação à primeira pergunta podemos responder negativamente. A Geografia se preocupa com o clima somente até onde ele explica o meio físico e a influência deste sobre as atividades do homem. Preocupa-se com a chuva, e não com seus processos geradores, mais com os resultados finais do que com os mecanismos. A segunda pergunta, entretanto, podemos responder afirmativamente. Não podemos efetivamente descrever o clima — mesmo seus resultados finais — a menos que compreendamos os mecanismos em interação, e estes são muito mais frequentemente dinâmicos que estáticos. Sumariamente podemos

assinalar o interesse e utilidade da Climatologia Dinâmica nos seguintes breves tópicos:

a) os métodos da Climatologia Dinâmica apresentam uma flagrante semelhança com os do geógrafo. As massas de ar e as frentes seriam as regiões e as fronteiras regionais da atmosfera a superfície da Terra, e reclamam para seu reconhecimento as mesmas aproximações e premissas caras ao geógrafo.

b) Através dessa disciplina podemos interpolar dados climáticos com muito maior êxito do que com aplicação de métodos convencionais que dado seu caráter rígido e generalização leva seus aplicadores, não poucas vezes, a erros grosseiros. O uso de métodos dinâmicos é de especial importância em áreas cujas estações de observação são muito esparsas, tais como, o ártico e sub-ártico canadense, a Amazônia e outras regiões. Podemos também mais prontamente correlacionar um elemento com outro, o que geralmente é impossível com o material estático existente.

c) Com o desenvolvimento das comunicações aéreas tornou-se importante especificar o efeito do clima no voo, o que é quase impossível sem os métodos dinâmicos. Na Amazônia e no norte canadense, onde o acesso rápido é feito pelo ar, este aspecto do problema assume importância capital — principalmente no Canadá onde as condições climáticas são mais instáveis — uma vez que as possibilidades de transporte são fundamentais para o desenvolvimento dessas regiões.

BIBLIOGRAFIA

- Diretoria de Aeronáutica Civil*: "Meteorologia para Pilotos", Boletim Técnico n.º 7, Ministério da Aeronáutica, Rio de Janeiro, 1950.
- HAUWITZ, Bernhard and AUSTIN, James M.: "Climatology", Mc Graw-Hill Book Company, Inc., New York and London, 1944.
- NIMER, Edmon: "Circulação Atmosférica do Nordeste e suas conseqüências — O Fenômeno das Sêcas", Separata da Revista Brasileira de Geografia n.º 2, Ano XXVI — abril-junho, 1964, Conselho Nacional de Geografia, IBGE, Rio de Janeiro.
- PETTERSEN, Sverre: "Introducción a la Meteorologia", Epsa-Calpe, S.A. Madri, 1962.
- SERRA, Adalberto: "Clima da América do Sul", Inédito.
- SERRA, Adalberto: "Circulação Superior", Revista Brasileira de Geografia, Anos XV e XVI, ns. 4 e 1, janeiro-março, 1954, Conselho Nacional de Geografia, IBGE, Rio de Janeiro.
- SERRA, Adalberto: "O Princípio de Simetria", Revista Brasileira de Geografia, Ano XXIV, n.º 3, julho-setembro, 1962, Conselho Nacional de Geografia, IBGE, Rio de Janeiro.
- SERRA, Adalberto: "Sêcas do Nordeste", Boletim Geográfico, Anos XII e XIV, ns. 5, 123 e 132, novembro-dezembro, 1954 e maio-junho, 1956, Conselho Nacional de Geografia, IBGE, Rio de Janeiro.
- SERRA, Adalberto: "Metodologia do Nordeste Brasileiro", Conselho Nacional de Geografia, IBGE, 1945, Rio de Janeiro.
- SERRA, Adalberto: "Previsão do Tempo", Boletim Geográfico, Ano VI, n.º 68, novembro, 1948, Conselho Nacional de Geografia, IBGE, Rio de Janeiro.
- SERRA, Adalberto e RATISBONNA, Leandro: "As Massas de Ar da América do Sul", Serviço de Meteorologia, Ministério da Agricultura, Rio de Janeiro, 1942.
- TREWARTH, Glenn T.: "An Introduction to Weather and Climate", Mc Graw-Hill Book Company, Inc. New York and London, 1943.
- WILLET, Hurd C.: "Descriptive Meteorology", Academic Press, Inc., Publishers, New York, N. Y. 1944.