

ESBÔÇO CLIMATOLÓGICO DA REGIÃO LESTE BRASILEIRA *

LINTON FERREIRA DE BARROS

INTRODUÇÃO

Propomo-nos a estudar o clima da Região Leste Brasileira.

Estabelecemos para tal um programa de estudo que consistiu na leitura dos diversos tópicos sobre o assunto, e posterior relatório dos importantes fatos por nós apreendidos nesta leitura.

Contudo, achamos necessário dispender maior atenção aos trabalhos: *Previsão do Tempo* e *Circulação Superior*, do meteorologista ADALBERTO SERRA.

Isto porque cogitamos das chuvas da faixa leste do Brasil, e embora já tivéssemos elaborado um trabalho em 1953¹ sobre a distribuição de chuvas no vale do São Francisco, sentíamos que os fatos nêles constatados eram insuficientes para explicar as chuvas da faixa litorânea, principalmente Ilhéus (Bahia) para o sul.

Os fenômenos tipos “ondas de leste” (*Easterly Waves*), que por falta de observações no oceano Atlântico,² tornam-se difíceis de se distinguirem das “calhas induzidas” (*troughs induced*),³ deveriam explicar grande parte das chuvas verificadas na faixa litorânea,⁴ porquanto as “calhas”, pela própria dinâmica e estrutura, poderiam implicar no aparecimento de chuvas para a região.

Nos dois trabalhos citados de ADALBERTO SERRA, os fenômenos “calhas induzidas” surgem em consequência de suas oscilações, como os maiores responsáveis pela chuva do litoral. E mais, êstes fenômenos servem ainda para explicar a orientação dos ventos ali constatada, principalmente, no estado do Espírito Santo, sul da Bahia e noroeste do estado do Rio de Janeiro. Nestes locais a orientação dos ventos sem levar em consideração a existência destas “calhas induzidas”,

* Queremos aqui externar os nossos agradecimentos ao geógrafo Prof. NEX STRAUCH por nos ter oferecido esta oportunidade de voltar ao estudo da geografia física, dando-nos a incumbência de realizar êste trabalho sobre clima, bem como a inteira liberdade de ação e tempo para a execução do mesmo.

¹ Contribuição ao Estudo das Massas de Ar da Bacia do São Francisco. *Revista Brasileira de Geografia*, Ano XIX, n.º 3, 1957.

² *Circulação Superior*, pág. 547, *Rev. Bras. de Geografia*, n.º 4, ano XV.

³ Ver a respeito introdução à 1.ª meteorologia — Sverre Pettersen.

⁴ O prof. JUNQUEIRA SCHMIDT, do Serv. de Met. do Min. da Agricultura, por ocasião da elaboração daquele nosso primeiro trabalho, já nos chamara a atenção sobre as “ondas de leste” e as chuvas no leste brasileiro. Sobre o assunto, no *Handbook of Meteorology*, de Berer's, o meteorologista CIVILIAN STAFF, na parte referente a “Tropical Synoptic Meteorology”, deixa antever a possibilidade de chuvas no litoral nordeste brasileiro em consequência destes fenômenos meteorológicos.

N.R. — Por falta de espaço, êste trabalho foi dividido em quatro partes. As restantes serão publicadas, respectivamente, nos números 3 e 4 do Ano, XXIX, e 1 do Ano XXX da *Revista Brasileira de Geografia*.

parece incompatível com a disposição normal dos grandes centros de pressão do nosso hemisfério, que deveriam comandar a orientação geral dos ventos.

Essa evidente importância das “calhas” obrigou-nos, em primeiro lugar, a procurar saber como elas se formavam e como evoluíam e ainda mais, quais as modificações que elas produziam nos ventos e na distribuição das chuvas. Desta forma, surgiu a primeira parte deste trabalho.

Já na segunda parte, procuramos condensar os fatos expostos do trabalho de ADALBERTO SERRA *Previsões do Tempo*, numa tentativa de estabelecer os locais mais propícios e onde com mais frequência se dá a ocorrência dessas “calhas” e os efeitos destes fenômenos na distribuição das chuvas e na orientação dos ventos.

Nesta parte achamos melhor considerar, em separado, as quatro estações do ano, dividindo a análise de cada período do ano em quatro capítulos sucessíveis. No primeiro capítulo estudamos a situação dinâmica atmosférica sem a atuação da massa polar, estabelecendo para isto a hipótese de nenhum derrame de ar polar se verificar na ocasião, em direção ao equador. A tal situação batizamos com o título de: “Situação sem atuação da massa polar”, ou seja a situação com ausência de “calhas induzidas” e frente polar atlântica.

No segundo capítulo estudamos a influência das “calhas induzidas” e frente polar nos ventos e distribuição das chuvas, surgindo neste capítulo a parte que toca à condensação do trabalho citado de ADALBERTO SERRA.

Tanto neste capítulo como no anterior procuramos ilustrar os fatos aproveitando as cartas sinópticas publicadas diariamente pelo jornal *O Estado de São Paulo*, em São Paulo, cuja transcrição tomamos a liberdade de fazer, incluindo em certos casos, o próprio texto referente à análise da Carta de Tempo, a fim de reforçar os nossos comentários.

No terceiro capítulo analisamos alguns fatos a mais no que diz respeito a deslocamentos de massas de ar.

Contudo, aproveitamos, para feitura de um quadro geral e dinâmico da circulação na Região Leste, o que já fôra estabelecido em nosso trabalho: “Contribuição ao estudo das massas de ar da Bacia do São Francisco”. Isto porque ali já existe um resumo da circulação geral da atmosfera e porque o trabalho refere-se a uma grande parte da Região agora por nós estudada.

Por último, no quarto capítulo, procuramos relacionar as chuvas registradas nos mapas de isoietas com a circulação atmosférica. Para tal procuramos esboçar os quadros mais comuns das direções dos ventos e percursos das massas de ar na Região Leste, durante as diversas estações do ano.

Com todos estes dados em mão procuramos estabelecer, para cada estação, uma divisão em zonas climáticas.

E, se assim o fizemos, foi porque desejávamos, do ponto de vista dinâmico, estabelecer um quadro climático para a região Leste. Com

êste objetivo tivemos, de início, de dissociar, dissecando as situações existentes no quadro climático, estabelecendo assim, uma divisão climática para cada uma das quatro estações do ano. Justifica-se tal proceder, não porque haja uma divisão climática para cada estação do ano, mas sim porque uma estreita divisão climática no tempo (período de 3 meses consecutivos) permite chegar a alguma conclusão na diferenciação dos climas, após ser feita a associação dos quatro períodos antes isolados e distintos.

Por fim, na 3.^a parte, condensamos os resultados obtidos na 2.^a parte, estabelecendo para a Região Leste uma divisão em zonas onde, para cada uma delas, acreditamos que a evolução do clima apresenta características bem definidas.

A mais pode-se, pela leitura de nosso trabalho, verificar que fizemos uma tentativa de reafirmar que o clima de uma região não depende unicamente de fatores locais e que o fator relêvo e, principalmente, o estudo da dinâmica da atmosfera são elementos valiosíssimos na interpretação do clima de uma região.

Além disso, qualquer uma das classificações climáticas com bases puramente estatísticas adotadas atualmente, torna-se quase sempre nula, na maioria dos casos, quando não vier em seu auxílio o estudo da circulação atmosférica.

E isto porque estas classificações climáticas não passam de quadros estáticos em relação ao clima, pois o que se tem em realidade é a evolução contínua e permanente dos agentes atmosféricos a agir sobre o modelado.

Assim, uma classificação que, por exemplo, não levar em conta a força do vento, sua mudança, a maneira com que caem as chuvas, a oscilação da temperatura, a passagem das massas de ar, cada qual com características distintas, e as suas características mais comuns, uma classificação que despreza tais fatos, embora útil, será, em geral, insuficiente para explicar o clima e mesmo relacionar o clima em locais próximos. Aqui podemos citar como exemplo a classificação de KÖPPEN que leva em conta a quantidade de precipitação, uma temperatura média e uma umidade relativa. Com tais elementos ela consegue diferenciar no mundo grandes zonas climáticas, no que toca às generalizações, como acontece com outras classificações, mas no que concerne ao estudo de áreas limitadas sente-se que é insuficiente.

Por exemplo, na Guanabara, a classificação de KÖPPEN diz ser o clima do tipo Af (tropical sempre úmido) pois apresenta em média temperatura do mês mais frio, acima de 18° C e chuva suficiente em todos os meses,⁵ mas não deixa antever a variabilidade do clima, com mudanças bruscas de temperatura e quedas rápidas do barômetro e mudanças na direção do vento, saindo-se de um tempo firme com ventos quentes e secos, com grande capacidade de absorção do vapor

⁵ Ver o "O Clima do Rio de Janeiro", item 2 — Classificação de Clima, de ADALBERTO SERRA e LEANDRO RATISBONNA, onde aludem à diversas classificações de clima para o Distrito Federal. *Bol. Geográfico* — CNG — Ano II, n.º 28.

d'água, para se penetrar em poucas horas num regime de chuvas sob ventos frios e úmidos. Fatos êstes que tornam o clima muito árduo para o carioca.

Além do mais, a insuficiência de dados não permite uma aplicação melhor da referida classificação, a qual assim serve para definir climaticamente uma região como a Guanabara, sem contudo chamar a atenção, nos seus resultados, ao contraste nítido de tempo entre alguns bairros da zona norte, secos e quentes e outros da zona sul úmidos e com temperatura mais amena em determinadas épocas. Já a dinâmica, com menos dados e baseada na disposição das linhas mestras do relevo e nos postulados da circulação atmosférica, permite teoricamente prever a variação de clima mais provável para um local. Foi, pois, a deficiência das classificações que nos levou a empreender o trabalho ora apresentado. **

I PARTE

A) As “calhas de pressão” e as descontinuidades atmosféricas.

1) Estrutura das “calhas de pressão”.

Os contínuos avanços da FPA (Frente Polar Atlântica)⁶ no sul do continente acarretam uma modificação na disposição dos diversos centros de pressão do nosso hemisfério, na parte tocante à América do Sul.

Tais modificações influenciarão na distribuição das chuvas. A não ser as chuvas de convecção provocadas pela irradiação de intenso calor do solo principalmente no verão e início do outono, e advindas geralmente da massa EC, as demais chuvas estão intimamente relacionadas com o avanço da FPA em direção ao trópico ou mesmo na oscilação das diversas “calhas induzidas”, que se formam sobre o Brasil, por ocasião da frontogênese⁷ da FPA no sul do continente.

As “calhas de pressão” são locais, no quadro das isóbaras, de menor pressão, distribuídos em forma de uma calha ou vale de menor pressão, e que partem do centro de um ciclone para a periferia.

De um lado do talvegue os ventos se aproximam e do outro, se afastam, e, conforme a distribuição das isóbaras, os ventos poderão, ao atravessar o talvegue, mudar fortemente ou suavemente de direção,

** O autor agradece a colaboração dos alunos — MARGARIDA PENTEADO, ROBERTO DE MORAIS e MANOEL DA SILVA, do Curso de Geografia da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Rio Claro que gentilmente copiaram para o papel vegetal, grande parte das figuras correspondentes as Cartas de Tempo do Estado de São Paulo.

⁶ Usaremos as notações comuns em meteorologia: FPA, TA, EC, TC, para representar respectivamente a frente polar atlântica e as massas de ar tropical atlântica, equatorial continental e tropical continental.

⁷ Quando o contraste de massas de ar vizinhas permitir uma intensificação da frente formada por elas, diremos que há uma frontogênese na frente. Quando as massas vizinhas implicarem pela sua evolução numa dissolução da frente, diremos que há uma frontólise. A uma região que facilitar o maior contraste das massas de ar implicando numa intensificação ou formação de uma frente, chamaremos de uma região de frontogênese. A uma região que tende a nivelar as massas de ar provocando uma dissolução da frente, chamaremos de região de frontólise.

conforme respectivamente uma calha em forma de V ou em forma de U (fig. 1).***

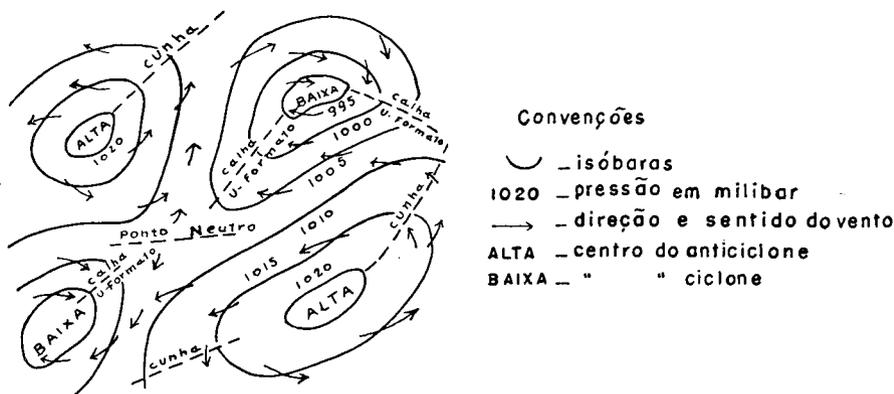


Fig. 1

As calhas em V geralmente surgem acompanhadas de frente.⁸

Dizemos que uma corrente de ar converge quando as suas componentes horizontais da velocidade diminuem, e quando o contrário se sucede, dizemos que a corrente diverge. Sabe-se pela equação da continuidade que o ar que converge tende a aumentar a sua componente vertical de velocidade, ascendendo-se, o contrário se sucedendo para o ar divergente.⁹ O ar ao subir, evoluindo adiabaticamente, se esfria continuamente, podendo em seu deslocamento para níveis mais altos, atingir o ponto de saturação, com conseqüente condensação do vapor d'água, cujo fenômeno pela liberação do calor latente de condensação, irá provocar o desenvolvimento de nuvens tipo cumulus e cumulo-nimbus. Assim, numa zona de convergência de ar, deve-se esperar o aparecimento de nuvens de grande desenvolvimento vertical e portanto a

*** Achamos oportuno lembrar as seguintes regras bastantes úteis para a compreensão do comportamento dos ventos em função das isóbaras. Assim, teoricamente, os ventos fluem acompanhando, paralelamente as isóbaras, nos níveis superiores a 1000m de altitude. Nos níveis compreendidos entre o solo e aquele nível, devido ao atrito, os ventos irão furar obliquamente as isóbaras, passando de uma zona de alta pressão para uma vizinha de menor pressão; o ângulo entre a direção do vento e a isóbara será tanto maior quanto mais perto estiver o vento do chão.

No nosso hemisfério, o giro dos ventos que saem de um centro de alta pressão (anticiclone) se faz em sentido contrário ao dos ponteiros de um relógio; e para os ventos que se aproximam do centro de baixa pressão (ciclone), o giro dos ventos se faz segundo o dos ponteiros de um relógio. Deste modo a zona de alta pressão fica sempre, no hemisfério sul, à esquerda de quem estiver acompanhando a trajetória do vento (é a lei de Buys Ballot), SVERRE PETTERSEN em sua *Introducción a la Meteorología*, no capítulo VII, "Los Vientos" explica as causas destes dados. Ou então, para um estudo mais profundo ver HAURWITZ *Dynamic of Meteorology* pág. 146 sob o tópico "o vento geostrófico". Ver também. "Notas de Meteorologia", por nós escrito e publicado no *Boletim Geográfico*, CNG números 170 e 174.

⁸ SVERRE PETTERSEN, pág. 165 *Introducción a la Meteorología* — Espasa-Calpe Argentina, S.A. — 1951.

⁹ Isto pode ser verificado pelo traçado das *streamlines* — ver a respeito Circulação Superior 1.ª parte — *Revista Brasileira de Geografia*, Ano XV, n.º 4; ou então pela validade da equação da continuidade de fluido atmosférico. De fato, a equação da continuidade nos diz:

$$\frac{\delta \rho}{\delta t} + \frac{\delta u \rho}{\delta x} + \frac{\delta v \rho}{\delta y} + \frac{\delta w \rho}{\delta z} = 0$$

ou escrita de outra forma:

$$\frac{\delta \rho}{\delta t} + \Delta \cdot (\vec{V} \rho) = 0$$

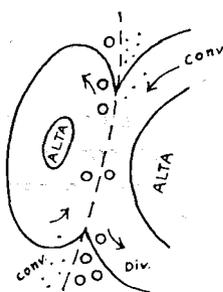
onde ρ significa densidade de massa, u , v e w são as componentes do vetor velocidade \vec{V} , respectivamente segundo os eixos triortogonais x , y e z , sendo z o prolongamento do raio da terra no local considerado: $\frac{\delta \rho}{\delta t}$ derivada parcial da função ρ em relação ao tempo, e Δ (delta) é o operador gradiente.

provável ocorrência de chuvas. Ao contrário, o ar ao descer, evoluindo adiabaticamente, tende a se esquentar podendo dissipar as nuvens antes existentes, tornando firme o tempo para a região.

2) Outras Estruturas

Uma “calha induzida” se apresenta no quadro das isóbaras como um corredor ou vale de menor pressão que separa dois centros de alta pressão. “Calhas”, assim, são comuns entre as dorsais¹⁰ de alta pressão que se formam no Brasil. Geralmente êles separam as dorsais de alta do centro de ação do Atlântico Sul.¹¹

Em tais “calhas” (Fig. 2) se verificarão convergência e divergência de ar. Nos locais onde se der a convergência, o ar ascenderá e, se fôr convectivamente instável poderá acarretar chuvas para o local. Já nos locais onde se der divergência, o ar descerá trazendo aquecimento, limpeza para o céu, dissipação das nuvens antes existentes.



Convenções	
Conv.	— zona de convergência de ar
Div.	— divergência de ar
---	— eixo da calha
→	— direção e sentido do vento
⋯	— local onde as chuvas podem ocorrer
○ ○ ○ ○	— de estabilização do tempo
⤿	— isóbaras

Fig. 2

As “calhas induzidas” surgem quando uma frente polar, ao se mover em regiões de baixa latitude, conservar as características extra-tropicais que lhe são próprias, e se tornar quase estacionária.

Se ρ fôr constante no tempo e no espaço, a 2.^a equação se reduz a $\rho \Delta \vec{V} = 0$ ou seja a:

$$\rho \frac{\delta u}{\delta x} + \rho \frac{\delta v}{\delta y} + \rho \frac{\delta w}{\delta z} = 0$$

ou ainda: $\rho \left(\frac{\delta u}{\delta x} + \frac{\delta v}{\delta y} + \frac{\delta w}{\delta z} \right) = 0$ o que permite-nos concluir: $\frac{\delta u}{\delta x} + \frac{\delta v}{\delta y} + \frac{\delta w}{\delta z} = 0$.

Agrupemos os termos do seguinte modo: $\left(\frac{\delta u}{\delta x} + \frac{\delta v}{\delta y} \right) + \frac{\delta w}{\delta z} = 0$. Então, quando u e v decrescerem, as suas derivadas serão negativas e portanto a soma $\left(\frac{\delta u}{\delta x} + \frac{\delta v}{\delta y} \right)$, neste caso, a

validade da equação diferencial anterior exigirá, que $\frac{\delta w}{\delta z}$ seja positivo, e portanto, w deverá crescer. Ao contrário, quando u e v crescerem, as suas derivadas serão positivas, implicando em $\frac{\delta w}{\delta z}$ ficar negativo e portanto w ser decrescente.

Esclarecemos, para os que não se dedicam a estudos de matemática que as conclusões anteriores se explicam por uma das propriedades da derivada de uma função que diz: a derivada negativa de uma função num ponto implica ser a função decrescente neste ponto. De fato, $\lim_{x \rightarrow x_1} \frac{f(x) - f(x_1)}{x - x_1} < 0$, para $x > x_1$, implica em ser $f(x) < f(x_1)$. A outra propriedade que também se aplica no caso contrário, é a seguinte: a derivada positiva de uma função num ponto implica ser a função crescente neste ponto. Basta como fizemos acima, observar a definição de derivada de uma função para se concluir por esta propriedade.

¹⁰ Os pequenos centros de alta pressão instalados sobre o continente são chamados de dorsais de alta.

¹¹ O grande anticiclone semifixo do Atlântico Sul que domina o litoral brasileiro é também chamado de centro de ação do Atlântico Sul.

No hemisfério norte os derrames de ar polar nos trópicos ocorrem quase exclusivamente no inverno, mas no nosso hemisfério as partes das regiões tropicais mais próximas do pólo são afetadas, durante todo o ano, por tais derrames.

A invasão destas massas frias nas zonas temperadas e tropicais poderá implicar numa modificação de estrutura dinâmica da atmosfera.

Assim, a "calha", sempre registrada junto à descontinuidade (frente fria que avança) e que atinge a grandes altitudes, pode se desenvolver mais fortemente avançando em altitude para este da frente fria, antecipando-se a esta.

A origem dêste movimento parece estar ligada ao movimento ondulatório (movimento de onda) iniciado na frente polar. Êste movimento se propaga em altitude, adiantando-se da frente e para este. A nova "calha" assim surgida, e que em altitude se antecipa à frente polar, constituindo uma estrutura dinâmica típica, denomina-se "calha polar".¹²

Em geral, as massas de ar distintas que se acham em contato constituindo uma *frente*, possuem densidades diferentes, havendo assim uma descontinuidade de densidade registrada, quando se passa de uma massa para outra.

Mas pode também acontecer que essa descontinuidade de densidade desapareça, notando-se somente uma descontinuidade de velocidade ao se passar de uma massa para outra. E esta descontinuidade pode se manter e ela será pois, uma consequência do "vento Shear".¹³

Neste caso, a frente assim constituída, recebe a denominação de um *shear line* (linha de shear).

O avanço da frente polar, quando esta apresenta uma orientação aproximada de este-oeste, pode provocar o estilhaçamento do grande

¹² Os fatos aqui expostos constituem uma condensação do que consta sob o tópico "Modificações tropicais dos sistemas temperados" do capítulo "Tropical Synoptic Meteorology" de CIVILIAN STAFF, do livro *Handbooks of Meteorology* edited by F. A. BERRY e JR., E. BOLLAY, R. BEERS — New York Mc Graw — Hill Book Company Inc. 1945.

¹³ Ao se estudar certas perturbações da atmosfera, podem-se, para simplificar os cálculos, reduzir as equações do movimento estudado a formas lineares. Imagina-se tal movimento como sendo oriundo de um movimento variável superposto a um movimento invariável, êste advindo de um imperturbável estado da atmosfera.

Assim, no deslocamento dos ciclones, o movimento resultante seria a adição de um pequeno movimento ondulatório instável, mais um movimento invariável da atmosfera, que neste caso seria o vento geostrófico.

Dentro desta hipótese feita para a superposição de movimentos distintos, o movimento de onda dentro de uma superfície de descontinuidade, terá como velocidade de propagação da onda, a soma de um termo *convectivo* com um termo *dinâmico*. O primeiro dêles é o valor médio das velocidades do movimento invariável registrado em cada massa de ar, enquanto o segundo termo é consequência do efeito da força de gravidade local (daí seu nome, pois está ligado a uma causa dinâmica-força) e da diferença das velocidades do movimento invariável das duas massas de ar.

No caso de se terem massas de ar em contacto com densidades iguais, a expressão do movimento de propagação da onda resultante se simplificará e verificar-se-á que o termo *convectivo* será a média das velocidades do movimento invariável em cada massa, e o termo *dinâmico* será a diferença destas velocidades. A tal diferença de velocidade, que pode ser considerada como uma diferença de ventos (cada massa possuindo uma direção e grandeza de vento distintas) chama-se *shear* (em consequência de uma possível comparação com as forças tangenciais de atrito estudadas na mecânica clássica, na lingua inglesa por ocasião do deslocamento de um fluido); e o efeito dêste *shear* no movimento de onda é chamado o *shearing effect*.

A esta diferença de vento existentes na descontinuidade (frente) chama-se, pois, um *vento shear* e, neste caso, as ondas resultantes são chamadas *shearing waves*. Assim, vemos porque, quando a descontinuidade de densidade desaparece, a frente resultante passa a ser denominada uma *shear line*, pois o seu deslocamento de onda depende do "vento shear".

Sobre o assunto ver capítulo XIV "The perturbation theory of atmospheric motions" do livro *Dynamic Meteorology* pgs. 271 HAURWITZ — New York Mc Graw — Hill Book Company, Inc. — 1941.

centro de alta pressão, semifixo, localizado próximo ao litoral brasileiro, entre a frente fria e o equador.

Após o estilhaçamento, surgirão pequenas dorsais de alta espalhadas sobre o continente.

Tal acontecimento se verifica quando se inicia a formação de um ciclone dentro da *frente*, o qual passará a se desenvolver desde que esta se torne quase estacionária.

A partir deste ciclone surgirão “calhas”, praticamente ortogonais à frente, e que irão separar pequenas dorsais de alta pressão, desgarradas do grande centro de alta pressão, ou seja, estas “calhas” irão isolar estas dorsais de alta, do grande centro de alta pressão do Atlântico Sul, e do qual aquelas podem se imaginar originárias.

A uma “calha” assim formada e que separa uma pequena dorsal de alta do grande centro de alta pressão, ou que separa dorsais entre si, chamaremos de “calha induzida”.

3) O Vento Gradiente

Quando somente se consideram no deslocamento uma partícula de ar a força *desviante* da terra — isto é força de Coriolis —, a força centrífuga, esta resultante da trajetória relativa e curvilínea da partícula, e a força resultante do gradiente de pressão, desprezando-se, assim, as forças de atrito, então quando somente se considerarem estas 3 forças obtém-se a seguinte equação que dá o equilíbrio destes 3 elementos dinâmicos em jôgo:

(Figuras 3-A e 3-B).

$$\frac{V_{\theta}^2}{r} - 2w \operatorname{sen} \varphi V_{\theta} = \frac{1}{\rho} \times \frac{\delta P}{\delta r} \dots \dots (a)^{15}$$

3-A

3-B

Centro de baixa pressão	Centro de alta pressão
As linhas cheias são isóbaras	As linhas cheias são isóbaras
$\frac{\delta P}{\delta r}$ Fôrça resultante de gradiente de pressão ¹⁴	$\frac{\delta P}{\delta r}$ Fôrça resultante de gradiente de pressão ¹⁴
\vec{V}_{θ} Velocidade da partícula	\vec{V}_{θ} Velocidade da partícula
Hemisfério sul	Hemisfério norte.

¹⁴ O gradiente de um campo (de pressão por exemplo) é sempre dirigido de uma região do campo de maior valor (maior pressão no caso do exemplo considerado) para uma região de menor valor (menor pressão). Assim, na figura A, a fôrça $\frac{\delta P}{\delta r}$ é negativa em relação às duas outras fôrças em jôgo. Já na figura B, pela distribuição das pressões, a fôrça resultante do gradiente de pressão deve ser dirigida no mesmo sentido que a fôrça centrífuga, o que implica ficar a fôrça de Coriolis dirigida para o centro da figura, para que o equilíbrio das fôrças seja mantido, o movimento se processando, portanto, no sentido contrário ao dos ponteiros do relógio.

¹⁵ O sinal negativo do 2.º termo da expressão surgiu em consequência de ser, por convenção, o ângulo φ da latitude no hemisfério sul, considerado negativo. Sobre a dedução desta fórmula ver secção n.º 56 “Steady Motion along Circular Isobars”, de *Dynamic Meteorology* de HAURWITZ.

Nesta expressão $\frac{V_{\theta}^2}{r}$ é a aceleração centrífuga, $2w \operatorname{sen} \varphi V_{\theta}$ é a aceleração de Coriolis e $\frac{\delta P}{\delta r}$ é o gradiente de pressão. A fôrça desviante da terra, ou fôrça de Coriolis, que atua em todos os movimentos na face da terra, é advinda da aceleração

de Coriolis, que vale $2 \vec{w} \wedge \vec{V}$ (\vec{w} é a velocidade angular da terra \vec{V} velocidade relativa do móvel e \wedge é o símbolo do produto vetorial), ou seja, em módulo: $2w V_{\theta} \cdot \operatorname{sen} \varphi$.

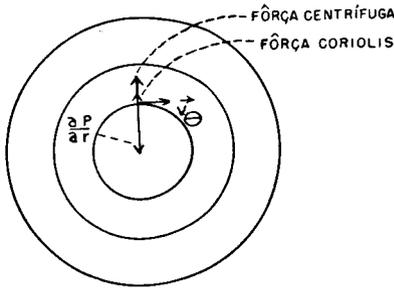


Fig. 3A

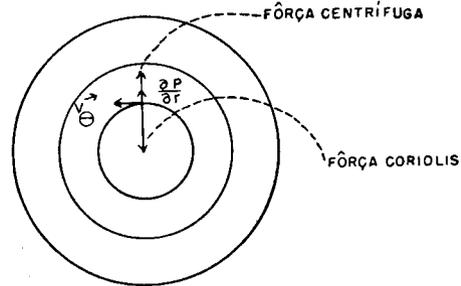


Fig. 3B

Nesta expressão w é a velocidade angular da terra, V_θ é a velocidade tangencial da partícula, ρ é a sua densidade, r é o raio de curvatura da trajetória, φ a latitude local (positiva no hemisfério norte e negativa no hemisfério sul, por convenção) e P a pressão.

O vento resultante dêsse equilíbrio de forças é o vento gradiente.

Observando-se a figura 3-A, representativa de um centro de baixa pressão (ciclone), vê-se que V_θ , velocidade tangencial, é aí negativa pois o vento circula no mesmo sentido que os ponteiros de relógio, e o gradiente de pressão, $\frac{\delta P}{\delta r}$, é positivo. Levando em consideração êstes fatos, a expressão anterior ficará para o vento gradiente em um ciclone (figura 3-A), no hemisfério sul:

$$\frac{V_\theta^2}{r} + 2w \operatorname{sen} \varphi V_\theta = \frac{1}{\rho} \frac{\delta P}{\delta r} \quad (b)$$

Agora esta expressão, onde os sinais dos termos já foram levados em conta, mostra claramente que a força centrífuga e a força de Coriolis estão equilibradas pelo gradiente de pressão.

Esta expressão ainda pode ser escrita do seguinte modo:

$$V_\theta = \frac{1}{2\rho w \operatorname{sen} \varphi} \frac{\delta P}{\delta r} - \frac{1}{2w \operatorname{sen} \varphi} \frac{V_\theta^2}{r} \quad (c)$$

Em um anticiclone, centro de alta pressão (figura 3-B), a velocidade tangencial do vento gradiente é positiva (sentido contrário aos ponteiros de um relógio) e o gradiente de pressão negativo.

Neste caso a expressão "a" do vento gradiente, quando aplicada para os ventos de um anticiclone em nosso hemisfério ficará:

$$\frac{V_\theta^2}{r} - 2w V_\theta \operatorname{sen} \varphi = - \frac{1}{\rho} \frac{\delta P}{\delta r}$$

ou

$$\frac{V_\theta^2}{r} + \frac{1}{\rho} \frac{\delta P}{\delta r} = 2w \operatorname{sen} \varphi V_\theta$$

Agora esta expressão onde os sinais dos termos já foram levados em conta, mostra claramente que a força centrífuga e o gradiente de pressão estão equilibrados pela força de Coriolis.

Esta expressão ainda pode ser escrita da seguinte maneira:

$$V_\theta = \frac{1}{2\rho w \operatorname{sen} \varphi} \frac{\delta P}{\delta r} + \frac{1}{2w \operatorname{sen} \varphi} \frac{V_\theta^2}{r} \quad (d)$$

4) Deslocamentos das "calhas".

Como se sabe, o quadro de distribuição das pressões se modifica continuamente, conforme se pode constatar observando as variações locais de pressão com o correr do tempo.¹⁶ Pode-se pois, em determinado momento, tomar o quadro da distribuição das pressões para uma grande área da terra e em seguida imaginar que as modificações posteriores havidas no quadro de pressão são consequência do deslocamento daquele quadro inicial por sobre a região considerada.

Assim, BJERKNES pôde considerar, para estudos de previsão do tempo, um campo sinusoidal de pressão,¹⁷ cujas isóbaras se deslocavam na direção oeste-este, com a zona de menor pressão mais próxima do pólo.

Tal distribuição de pressão imaginada por BJERKNES é típica das mais altas camadas da troposfera, nas latitudes da zona temperada.

Ainda mais, a velocidade do vento, segundo observações realizadas, é maior que a velocidade com que parecem se deslocar as isóbaras.

Assim, a curvatura da trajetória do ar num campo sinusoidal, quando êste se move na vizinhança de CD, é ciclônica e, em tórno de AB, anticiclônica (figura 4).

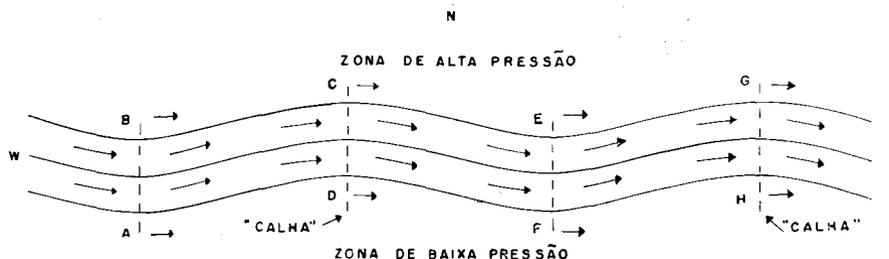


Fig. 4

As setas horizontais indicam o deslocamento para este em consequência do efeito ciclostrofico.

Pode-se assumir que a velocidade do vento seja expressa em função do vento gradiente, pois em altitude êste vento flui praticamente paralelo às isóbaras, e ainda, que o movimento seja horizontal.

Considerando que se trata de vento gradiente, pode-se aplicar a fórmula "d" para os ventos em \overline{AB} , obtendo-se:

$$V_{\overline{AB}} = \frac{1}{2\rho w \sin \varphi} \cdot \frac{\delta P}{\delta r} + \frac{1}{2w \sin \varphi} \frac{V_{\overline{AB}}^2}{r} \quad (\text{I});$$

e aplicar a fórmula "c" para os ventos através da linha \overline{CD} obtendo-se:

$$V_{\overline{CD}} = \frac{1}{2\rho w \sin \varphi} \cdot \frac{\delta P}{\delta r} - \frac{1}{2w \sin \varphi} \frac{V_{\overline{CD}}^2}{r} \quad (\text{II});$$

¹⁶ Sobre o deslocamento do centro de pressão pode-se ler SVERRE PETERSEN *Introducción a la Meteorología*, cap. XII, pág. 273.

¹⁷ Quando as isóbaras num campo de pressão tomam a forma de gráfico da função seno, diremos que o campo de pressão é sinusoidal.

Obs.: Aqui faremos o estudo para o hemisfério sul.

e ainda aplicar a fórmula “D” para os ventos que circulam através a linha \overline{EF} obtendo-se:

$$V_{\overline{EF}} = \frac{1}{2\rho w \sin \varphi} \cdot \frac{\delta P}{\delta r} + \frac{1}{2w \sin \varphi} \frac{V_{\overline{EF}}^2}{r} \quad (\text{III}).$$

Considerando o valor absoluto das expressões I, II e III¹⁸ vê-se que $|V_{\overline{AB}}| > |V_{\overline{CD}}|$ e $|V_{\overline{EF}}| > |V_{\overline{CD}}|$ ¹⁹.

Assim, a velocidade do vento através da linha \overline{FE} é maior que a verificada na linha CD. E assumindo-se que o vento deve soprar paralelo à isóbara,²⁰ vê-se que há uma divergência na área CDFE limitada pelas linhas retas FE e CD e pelas isóbaras de DE e CF. Conseqüentemente a pressão deve cair nesta área, o talvegue da “calha” se transferindo para este (L) dando a impressão de que a “calha” foi arrastada neste sentido. Por um raciocínio semelhante pode-se demonstrar que a pressão aumenta na área ABCD, devido à convergência do vento aí existente pois $|V_{\overline{AB}}| > |V_{\overline{CD}}|$ de modo que a zona máxima de alta pressão, localizada sob a linha AB (a qual pode ser imaginada dentro do quadro da pressão como sendo a cumieira de uma sinclinal), *a fortiori*, se deslocará para este.

Assim, vemos que todo o conjunto se deslocará para este.

E se observarmos as expressões I, II e III, veremos que as diferenças de velocidades existentes entre as linhas AB, CD e EF, surgem em conseqüência da mudança de sinal do último termo daquelas expressões, termo êsse denominado ciclostrófico. Por isso, ao deslocamento verificado em todo o conjunto para este, em conseqüência desta diferença de velocidade, recebeu o nome de “efeito ciclostrófico”.

Agora, se nas expressões I, II e III, desprezarmos o último termo,²¹ vê-se que o fator latitude assume grande importância, pois irá servir para diferenciar as velocidades entre as linhas AB, CD e EF. Na trajetória de uma partícula de ar, nota-se que a latitude (ângulo φ) é maior nas linhas AB e EF, do que em CD, e, conseqüentemente, tem-se $\sin \varphi_{\overline{AB}} > \sin \varphi_{\overline{CD}}$, bem como, $\sin \varphi_{\overline{FE}} > \sin \varphi_{\overline{CD}}$.

Êste fato implica em se ter $|V_{\overline{AB}}| < |V_{\overline{CD}}|$

$$|V_{\overline{FE}}| < |V_{\overline{CD}}|$$

E como o ar circula paralelo às isóbaras, conclui-se que há divergência na região ABCD, bem como convergência na região CDFE. Dêste modo haverá queda de pressão na região ABCD e aumento de pressão na região CDEF. Com isto, a calha CD se deslocará para oeste, ao

¹⁸ O que é necessário, pois em AB a velocidade é anticiclônica e por tanto positiva. Já em CD, é ciclônica, logo negativa, no nosso hemisfério.

¹⁹ As duas barras verticais servem para indicar o módulo ou valor absoluto dos valores compreendidos entre elas.

²⁰ O que é permitido pois trata-se de “vento gradiente”.

²¹ Em realidade, assim se pode proceder quando a curvatura da trajetória for pequena, isto é, a curva for alongada, pois êste último termo então, tende a se anular, porque r assume um valor imensamente grande ($r \rightarrow \infty$).

mesmo tempo que as linhas AB e FE, que constituem verdadeiras cumieiras de máxima pressão.

A tal deslocamento verificado para oeste, em consequência da diferença de latitude, chama-se “efeito de latitude”.

Em realidade, o campo das isóbaras não tem uma distribuição regular como a vista na figura 3, onde as isóbaras são linhas paralelas. O que se verifica é uma convergência das isóbaras num campo sinusoidal de pressão. Mesmo assim, assumindo a hipótese do vento que circula ser o vento gradiente, chega-se ao mesmo resultado anterior para o efeito ciclostrófico e o efeito de latitude.²²

Assim para as correntes de oeste o efeito ciclostrófico tende a deslocar os sistemas para este, no mesmo sentido da corrente, provocando divergência do ar a leste da “calha” e convergência do ar a oeste da “calha”, enquanto o efeito de latitude tende a contrariar êste fato. Assim, caso predomine um dos dois efeitos pode haver tendência de formação de chuvas ou pelo menos de nuvens, de um dos lados da “calha”.²³

Acontece, às vèzes, que num campo sinusoidal de pressão a zona de alta pressão fica localizada do lado sul (pólo) e a zona de baixa pressão do lado norte (equador), o vento soprando então de leste.

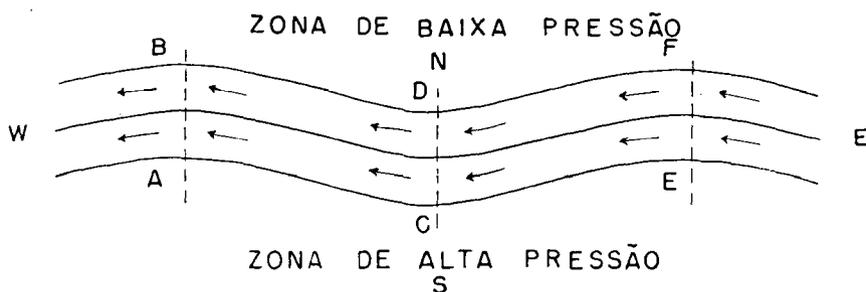


Fig. 5

Dentro da hipótese de ser o vento que sopra entre as isóbaras o vento gradiente, obteremos as seguintes expressões para as velocidades de uma partícula de ar nestas condições.

$$(I) \quad V_{\overline{AB}} = \frac{1}{\rho \, 2 \, w \, \text{sen} \, \varphi_{\overline{AB}}} \cdot \frac{\delta P}{\delta r} + \frac{1}{2 \, w \, \text{sen} \, \varphi_{\overline{AB}}} \cdot \frac{V_{\overline{AB}}^2}{r} \quad 24$$

$$(II) \quad V_{\overline{CD}} = \frac{1}{\rho \, 2 \, w \, \text{sen} \, \varphi_{\overline{CD}}} \cdot \frac{\delta P}{\delta r} - \frac{1}{2 \, w \, \text{sen} \, \varphi_{\overline{CD}}} \cdot \frac{V_{\overline{CD}}^2}{r} \quad 25$$

$$(III) \quad V_{\overline{EF}} = \frac{1}{\rho \, 2 \, w \, \text{sen} \, \varphi_{\overline{EF}}} \cdot \frac{\delta P}{\delta r} + \frac{1}{2 \, w \, \text{sen} \, \varphi_{\overline{EF}}} \cdot \frac{V_{\overline{EF}}^2}{r} \quad 24$$

²² Sobre o assunto ver seção 58 (Divergence, Convergence and Pressure Variation), do livro *Dynamic Meteorology* de HAURWITZ pág. 159, cap. VII.

²³ Pois pela validade da equação da continuidade sabe-se que o ar convergente tende a ascender-se, enquanto o ar divergente tende a descer.

²⁴ Aplicação da fórmula “d” do capítulo 3 (velocidade anticiclônica).

²⁵ Aplicação da fórmula “c” do capítulo 3 (velocidade ciclônica).

De um I e II vem $|V_{AB}| > |V_{CD}|$. Logo, divergência em BACD e portanto, queda de pressão nesta região.

De II e III vem $|V_{EF}| > |V_{CD}|$. Logo, convergência em CDEF e portanto, aumento de pressão nesta região.

Assim as linhas de máxima pressão e as de mínima pressão caminharão para oeste, ou seja a “calha” se deslocará para oeste. Então, vemos que o efeito ciclostrófico nas correntes de este, tende a deslocar os sistemas para oeste, no sentido da corrente.

Se agora desprezarmos o último termo nas expressões I, II e III, o fator latitude (ângulo φ) entrará em destaque, dêle dependendo unicamente, então, a variação da velocidade de uma partícula de ar qualquer dentro da trajetória sinusoidal. Consideremos somente os pontos sobre as linhas \overline{AB} , \overline{CD} e \overline{EF} . Vemos que, para uma partícula de ar nestas diversas posições, teremos: $\text{sen } \varphi_{\overline{AB}} < \text{sen } \varphi_{\overline{CD}}$ e $\text{sen } \varphi_{\overline{EF}} < \text{sen } \varphi_{\overline{CD}}$.

Neste caso, as expressões I, II e III nos darão: $V_{\overline{AB}} > V_{\overline{CD}}$ e $V_{\overline{EF}} > V_{\overline{CD}}$.

Então, haverá em ABCD divergência (pois o ar circula paralelo às isóbaras), logo diminuição de pressão, enquanto em CDEF teremos convergência de ar, logo aumento de pressão. Com isto, as linhas de máxima pressão e as linhas de mínima pressão se deslocarão para oeste, ou seja a “calha” se deslocará para oeste.

Desta maneira, o efeito de latitude, no caso presente, tende a deslocar o sistema de pressão para oeste, no mesmo sentido da corrente.

Vemos pois que os dois efeitos, ciclostrófico e de latitude, nas correntes de este são concordantes. Se lembrarmos agora, que, em uma divergência de ar, o mesmo tende a descer, enquanto, em uma convergência, êle tende a subir, veremos que nas correntes de este além do deslocamento das “calhas” para oeste, nota-se a formação de nuvens com tendência de chuvas contínuas na parte este das “calhas”, ao passo que, na parte oeste, o tempo tende a se firmar, as nuvens sendo dissolvidas, ou melhor absorvidas pelo ar quente descendente que está a divergir.

Êstes fatos acham-se condensados nos quadros 6 (para as correntes de oeste) e 7 (correntes de este).

- Div. — divergência do ar causada pelo efeito ciclostrófico
- Conv. — convergência do ar causada pelo efeito ciclostrófico
- div. — divergência causada pelo efeito de latitude
- conv. — convergência causada pelo efeito de latitude
- e. 1. — deslocamento do sistema de pressão no sentido da seta horizontal em consequência do efeito de latitude (sentido de oeste).

- e. c. — deslocamento do sistema de pressão no sentido da seta horizontal em consequência do efeito ciclostrófico (sentido de este).

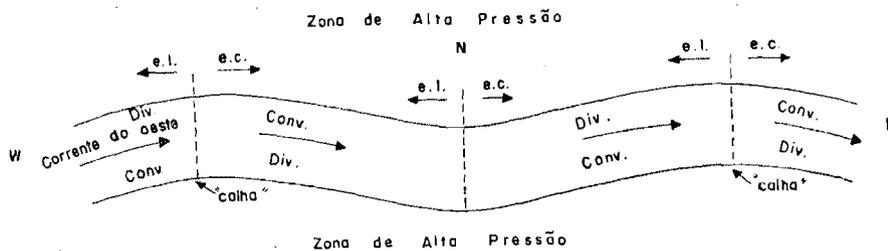


Fig. 6
Corrente oeste

Mesma notação do quadro precedente, vendo-se, agora, que o deslocamento do sistema é para oeste, com forte possibilidade de chuva nos locais de convergência, onde de fato se verifica a ascensão do ar.

Se observarmos as figuras 6 e 7, veremos que o efeito de latitude causa divergência no ar que vai para o equador e convergência no que segue para o sul.²⁶

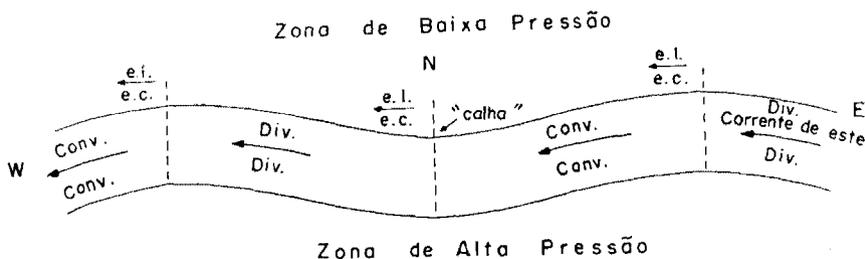


Fig. 7
Corrente de este

Em geral, nota-se nas correntes de oeste a predominância do efeito ciclostrófico sobre o de latitude, este sendo fraco, obtendo-se assim convergência a oeste da "calha" com divergência a este. Tais fatos se verificam nas "calhas induzidas" que separam pequenas dorsais de alta do centro de alta pressão (fig. 8). Aí pode-se imaginar, para melhor compreensão dos fatos, a associação dos dois quadros meteorológicos das figuras 6 e 7, o primeiro servindo para explicar a disposição das zonas de convergência e divergência do ar na parte sul, enquanto o segundo explica a convergência e divergência do ar na parte norte.

²⁶ ADALBERTO SERRA em sua *Circulação Superior* 1.ª parte, E-4, chama a atenção sobre este fato, bem como demarca as zonas de convergência e divergência e os deslocamentos das "calhas" em função dos efeitos de latitude e ciclostrófico. As consequências desses fatos acham-se de uma maneira sucinta exposta à página 775, sob o tópico "calhas induzidas", do livro *Handbook of Meteorology* de BERGER, onde o autor alude a estreita relação entre as oscilações das "calhas induzidas" e a oscilação da frente polar que lhe deu origem, e acrescenta: "se a depressão frontal (frente polar) permanecer estacionária, a "calha induzida" permanecerá também, e ela poderá se intensificar acarretando mal tempo em ambos os lados".

Ainda falaremos sobre o assunto.

Ainda mais, a convergência de ar provocando o aparecimento de nuvens e, conseqüentemente, de chuvas advindas destas nuvens, indiretamente propicia, por ocasião da evaporação da chuva no solo, o resfriamento da região, bem como da massa de ar sob o domínio de tal convergência. Já na região sob divergência da massa se verifica o contrário, havendo assim um aquecimento da massa de ar.

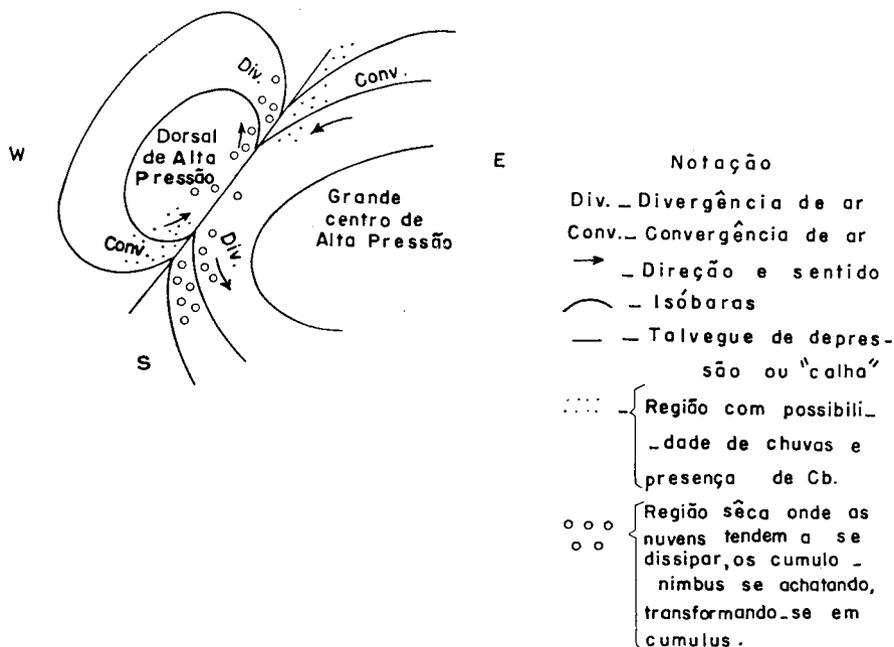


Fig. 8

A disposição de pressão da figura 8 se dá com razoável freqüência no litoral leste brasileiro. Ela serve para explicar os ventos chuvosos de sudoeste registrados no sul da Bahia, na zona cacauceira d'êste Estado, bem como os chuvosos de nordeste registrado no este pernambucano, quando se dá a instalação de uma dorsal de alta sôbre o estado baiano, com um talvegue de baixa pressão a separá-la do anticiclone do Atlântico Sul. Êste talvegue nada mais é que uma "calha induzida".

E êste tende, conforme se pode notar pelas figs. 6 e 7, em conseqüência dos efeitos de latitude e ciclostrófico, a girar, praticamente em tórno de sua parte média, num movimento contrário ao dos ponteiros dos relógios. E esta "calha" dará aos locais de Pernambuco, em conseqüência do deslocamento para oeste, a impressão de se tratar de uma "onda de leste".

Conforme a disposição das dorsais, a "calha induzida" se forma ou toma a orientação W-E, como é comum se verificar sôbre Minas Gerais ou estado do Rio de Janeiro, ou, então, mais ao norte, em Alagoas e Pernambuco. Neste caso a estrutura da figura 8 se mantém, desenvolvendo-se em Alagoas²⁷ aguaceiros nos locais de convergência

²⁷ Fenômeno meteorológico comum num grande trecho do litoral leste e nordeste do Brasil. Ele se assemelha muito a uma "calha induzida", sob corrente de leste que está a oscilar para oeste. Mais adiante falaremos um pouco sôbre certas "ondas de leste".

de ar. Estes aguaceiros, assim acreditamos, são grandemente auxiliados pela disposição do relêvo, pois ali os ventos sopram de sudeste (fig. 9).

OBS.: As convenções usadas nesta figura são as mesmas da figura n.º 8.

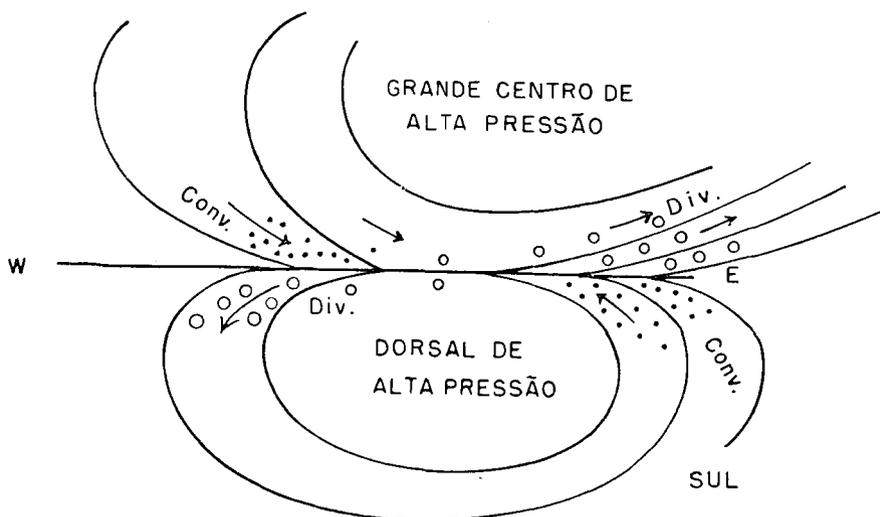


Fig. 9

A “calha” com orientação W-E sobre o estado do Rio de Janeiro, constitui, na maioria das vezes, a frente polar reflexa. Sobre esta voltaremos a falar mais tarde.

5) O eixo de uma “calha”.

Se em cada nível de altitude estabelecermos uma carta de distribuição de pressão, numa região onde se acha instalado uma “calha”, iremos obter no quadro das isóbaras, para cada nível, uma linha que demarcará o talvegue da “calha” naquele nível. O conjunto destas linhas, dispostas em níveis diferentes, constituirá uma superfície a qual denominamos de eixo da “calha”.

Em consequência dos centros de alta pressão, em geral, inclinarem-se em altitude, para alguma direção,²⁸ o eixo das “calhas” também sofrerá inclinações seguindo estas direções.

Nas “calhas induzidas” o eixo da “calha”, conforme a sua inclinação, permite queda de chuva num local muito antes da chegada (ou passagem) da parte inferior do eixo da “calha”, o que também acontece nas “ondas de leste”. A figura seguinte ilustra o fato.

6) Os percursos mais comuns das “calhas”.

Há uma relação estreita entre o deslocamento das “calhas induzidas” e o deslocamento da frente polar que lhes deu origem.*

²⁸ Ver a respeito, por exemplo, a inclinação do eixo do Centro de Ação do Atlântico Sul, no trabalho: *As massas de Ar da América do Sul* de ADALBERTO SERRA e LEANDRO RATISBONNA.

* Ver n.º 26 do rodapé da página 22.

Em geral essas “calhas” oscilam de 100 a 200 quilômetros para leste, logo após de formadas, caindo no oceano, enquanto outras novas vêm de oeste para fazer a mesma trajetória. Notam-se, também, que os progressos da frente polar para o norte deslocam, a princípio, essas “calhas” para leste.²⁹

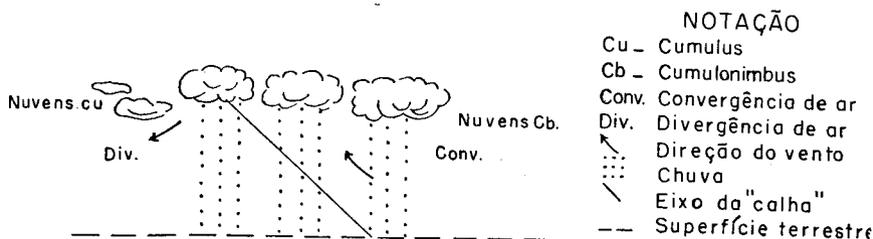


Fig. 10

No caso da frente polar atingir o trópico e aí estacionar, surgirão, por todo o país, em consequência do estilhaçamento do centro de pressão do Atlântico Sul, as “calhas induzidas” conforme anteriormente já vimos. Estas “calhas” se deslocarão de 100 a 400 quilômetros para leste ou sudeste, num período de 24 horas, desde que a frente polar experimente uma ondulação.²⁹

Mas basta a frente polar recuar para o sul, sob forma de frente quente, para as “calhas” tomarem um sentido contrário de movimento, deslocando-se para oeste.

Tais oscilações das “calhas” proporcionarão, conforme de fato acontece no nosso país, às regiões por elas abrangidas, uma maior possibilidade de chuvas, pois basta que os ventos convergentes das “calhas” sejam convectivamente instáveis para que a chuva aconteça.

7) A “onda de leste”.

É um fenômeno típico das regiões tropicais e que se desenvolve com características bem próximas de uma “calha induzida”, sendo assim facilmente confundida com esta.³⁰

As “ondas de leste” surgem em geral em camadas espessas de ar, vindas de leste. Nestas camadas notam-se zonas de convergência de ar e a seguir zonas onde o ar diverge. Em outras palavras, notam-se dentro destas camadas lugares onde o ar está em permanente ascensão (ar convergente) e locais próximos onde o ar passa imediatamente a ser descendente (ar divergente). A grosso modo, notam-se no quadro das isóbaras, na região de transição, o estabelecimento de uma “calha”. Todo este conjunto que se desloca para oeste é denominado “onda de leste”. A “calha” aí constitui um talvegue de pequena pressão e o ar que se aproxima do mesmo acha-se em ascensão e o que se afasta apresenta-se descendente, por estar sob o efeito de divergência.

²⁹ ADALBERTO SERRA letra H — “Estrutura das Calhas” — primeira parte da *Circulação Superior*.

³⁰ Ver obra citada 1.ª parte — “onda de leste” — letra H. Ler também no livro *Handbook of Meteorology*, o capítulo “Tropical Synoptic Meteorology” escrito por CIVILIAN STAFF, às págs. 767 a 769, onde as figuras 6, 7 e 8 dão uma clara idéia da evolução de uma “onda de leste” *Waves in the Easterlies*.

Em geral, o ar que circula constituindo a “onda de leste” é ar marinho com alto teor de umidade, e pois convectivamente instável. Tal fato caracteriza a “onda de leste” como um fenômeno capaz de modificar durante a sua passagem, a situação meteorológica de um local, acarretando grande nebulosidade e em geral, chuvas de monta.

Contudo, a distribuição da chuva numa região sob o domínio da “onda de leste” dependerá em parte da inclinação do eixo da onda.³¹ Assim em “ondas de leste” com eixo inclinado para oeste a chuva atinge o local muito antes da passagem da parte mais baixa da superfície de descontinuidade (eixo), notando-se a presença de cumulo-nimbus, figura n.º 11.

OBS.: Mesma notação da figura precedente.

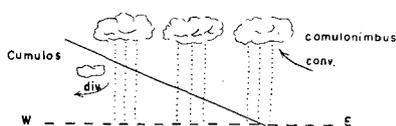


Fig. 11

É evidente que as maiores precipitações se darão a leste, onde de fato há maior espessura de corrente de ar. A própria “calha” apresenta-se enfraquecida devido a grande espessura de ar que lhe fica acima, conforme se

pode concluir da observação da figura.³²

Ao contrário, quando o eixo da “calha” se apresentar com inclinação para leste as chuvas só se darão após a passagem da descontinuidade (eixo), ou seja a leste do eixo (figura n.º 12).

OBS.: Mesma notação da figura precedente

A nebulosidade registrada é menor que a do 1.º caso, cumulo-nimbos somente surgindo após a passagem da descontinuidade.³³ Aliás a figura deixa antever essa situação, pois o domínio da divergência existe, o que é confirmado pelo aumento da queda da pressão registrada a proporção que a onda se aproxima; queda que, praticamente, se mantém durante parte da passagem da descontinuidade. Isto tudo porque, conforme já foi visto antes nos locais de divergência, há uma tendência de diminuição da pressão, o contrário se sucedendo nos locais de convergência, ou mais simplesmente, nos locais de divergência a coluna de ar tende a se achatar diminuindo de altura, enquanto nos locais de convergência ela tende a crescer aumentando de espessura.³⁴

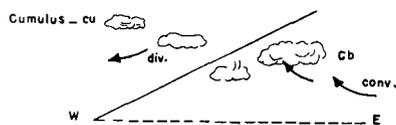


Fig. 12

A “onda de leste” apresenta uma inclinação média de 1/35 e raramente atinge o nível de 1500 metros,³⁵ em consequência ela, mesmo

³¹ Entendemos por eixo da “onda de leste”, o eixo da sua “calha”.

³² Ver a respeito item H, “Estrutura das Calhas”, págs. 5, 4 e 7 — 1.ª parte — *Circulação Superior* — ADALBERTO SERRA, Obra citada.

³³ Idem — ADALBERTO SERRA.

³⁴ Assim quanto maior for a coluna de ar sobre o local, maior pressão acusará o barômetro. Eis porque a “calha” se enfraquece no 1.º caso. Enquanto no 2.º ela se acentua.

³⁵ ADALBERTO SERRA, página 547, obra citada.

que não oscile, cobrirá uma faixa da superfície terrestre de uns 35 a 50 quilômetros de extensão.³⁶ A figura abaixo ilustra o fato.

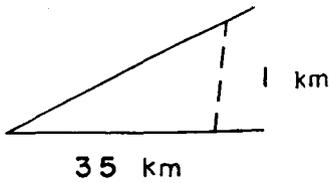


Fig. 13

Entretanto ADALBERTO SERRA chama atenção³⁷ para a possibilidade de a onda de leste apresentar-se com uma inclinação próxima da vertical, em consequência de existir somente uma pequena diferença de densidades entre as massas de ar que se localizam de um lado e de outro do eixo da “onda de leste”.

Como acontece com as “calhas induzidas” as oscilações da frente polar influenciarão nos deslocamentos da “onda de leste”. Assim os avanços de SW-NE da frente fria polar pelo sul do país implicam no movimento para oeste da “onda de leste”, as quais, contudo, não ultrapassam o meridiano de 40°.

Nota-se mesmo uma certa relação entre a velocidade de deslocamento da “onda de leste” e a da frente fria, sendo praticamente, uma o inverso da outra.³⁸

Por sua vez, as “ondas de leste” movem-se para leste, acompanhando o deslocamento para NE da frente polar que avança pelo interior até atingir o estado de Mato Grosso. Neste caso aquele movimento da onda coincide com os deslocamentos do centro de ação no mesmo sentido, para o oceano.

Mas, de um modo geral, “as ondas de leste” se estacionam no litoral e os ventos alísios que circulam por elas tendem a dissolvê-las.³⁸

Quando a frente polar recuar para o sul como frente quente a “onda de leste” praticamente gira em torno de si, adquirindo a orientação NW-SE, acarretando com isto chuvas para a região do baixo vale do rio São Francisco.³⁸

8) A frente polar reflexa (FPR).

Pelo que já foi visto anteriormente,³⁹ o deslocamento da frente polar na região subtropical, permite a formação de “calhas induzidas”, que irão separar as dorsais de alta sejam de massa EC sejam de massa TC.

Quando esta frente polar estacionar ou recuar como frente quente (meados da primavera até outono), estas “calhas induzidas” dentro da massa EC que se acha deslocada para o sul, irão praticamente se reunir em sua extremidade norte formando por fim, uma grande e nova “calha induzida”. Esta nova formação com direção geral de W-E geralmente apresenta torção para NW no seu ramo Ocidental o qual pode chegar até Goiás. Ela se forma sobre o NW do estado de São Paulo, Minas ou estado do Rio de Janeiro e é denominada por ADALBERTO SERRA “frente polar reflexa”.⁴⁰

³⁶ Às vezes, ela se estaciona. Pág. 548, idem.

³⁷ Obra citada. Pág. 534. Ou, então, “Superfícies de descontinuidade num campo de vento Geostrofico”, pág. 170 da *Dynamic Meteorology*, de HAURWITZ.

³⁸ ADALBERTO SERRA, pág. 548. Idem.

³⁹ Ver no capítulo n.º 2, “a calha induzida”.

⁴⁰ A respeito ver ADALBERTO SERRA, pág. 546, obra citada.

Aí, ao sul da linha de descontinuidade teremos um ar mais frio, sob os ventos chuvosos da EC, e ao norte, ventos menos chuvosos e portanto mais quentes, desta mesma massa de ar.

Esta frente polar reflexa, em geral, se desloca para o norte no máximo uns 200 quilômetros. Ela pode se manter estacionária. A duração desta frente é curta, a mesma se dissolvendo logo que se verifique novo avanço de frente polar no sul do país.

A divergência e convergência de ar para a "calha" que constitui a frente polar reflexa, praticamente explicam a distribuição das chuvas na região sob seu domínio. Entretanto, nem sempre a ascensão de ar é suficiente para a formação de chuvas, havendo, contudo, uma forte nebulosidade (ventos da TC por exemplo).

A figura n.º 14 representando um aspecto desta distribuição de chuvas em uma FPR, pode ser justificada pela figura 9.

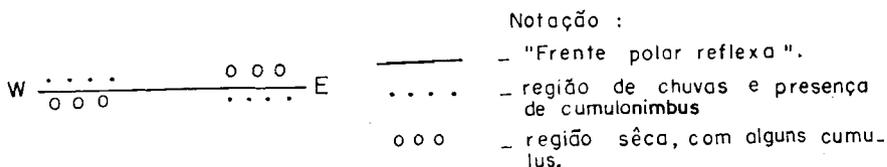


Fig. 14

A frente polar reflexa irá se formar com mais frequência na região de contacto entre os ventos da massa tropical atlântica, e os da massa polar velha estacionada no sul do país (massa polar já em transição para massa tropical).

A frontogênese de uma FPA no sul ou um novo avanço de massa polar, irá provocar uma reafirmação da antiga linha de descontinuidade existente entre aquelas massas de ar sobre os estados de São Paulo e Rio de Janeiro, surgindo assim uma frente polar reflexa.

Este fato irá explicar a maior nebulosidade verificada nestes estados, acompanhada quase sempre de chuvas, que poderão, às vezes, ser intensas, tudo se verificando após uma frente polar, à altura do trópico ou em latitudes um pouco maiores, ter se atenuado, iniciando-se um processo de dissolução na mesma. De um modo geral a disposição do relêvo irá dificultar o avanço das massas frias para latitudes menores, as quais ou podem ficar retidas pela barreira da serra do Mar ou mais adiante pela barreira da serra da Mantiqueira. Quando, posteriormente, surgir uma frente polar reflexa, os ventos do quadrante norte serão aspirados para a depressão frontal, modificando-se de rumo. Por exemplo, com a FPR localizada no estado de São Paulo, os ventos do centro de ação, sobre o estado do Rio de Janeiro, poderão girar ciclônicamente de N ou NW para NE, sendo neste caso a orientação da FPR próximo de W-E.

Na convergência destes ventos haverá aumento de nebulosidade e posteriormente, chuvas.

Ainda mais, verifica-se na região próximo ao trópico, após a dissolução da "frente polar reflexa", o retorno dos ventos de NE-NW, ficando assim a região sob o nítido domínio do centro de ação do Atlântico Sul. Este fato, limpeza do céu próximo ao trópico, por ser indiretamente, uma consequência do avanço de uma nova FPA no sul do país, poderá servir de indício para prever um novo derrame de ar polar até o trópico.

9) Os trajetos da frente polar atlântica.

Os avanços da frente polar atlântica no sul do continente têm a propriedade de deslocar todos os sistemas de pressão para o sul, acarretando com isto uma modificação no quadro da distribuição das chuvas em todo o país.⁴¹ Além disso, a passagem da frente polar trará chuvas. O valor destas chuvas, contudo, varia conforme a natureza da massa que estiver ascendendo na superfície de descontinuidade da frente polar. Também deve-se levar em conta a natureza dos ventos em jogo na frente polar. A diferença desses ventos quanto à velocidade, direção, sentido, temperatura e teor em umidade servirá, em parte, para qualificar o clima de um local. Assim torna-se oportuno demarcar

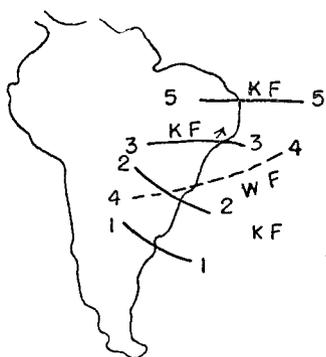


Fig. 15

os trajetos mais gerais da frente polar atlântica em nosso país. Tais trajetos serão, posteriormente, discutidos. Aqui iremos somente apresentar um quadro esquemático da evolução da frente polar.

A FPA pode permanecer estacionada sobre a Argentina ou Uruguai, mas após sofrer uma ação de frontogênese, ela poderá se deslocar para o norte invadindo o nosso país, levando alguns dias para atingir o trópico e se deslocando com o aspecto de frente fria. Na região próxima do trópico permanecerá também alguns dias, podendo a seguir, sofrer frontólise ou recuar com frente quente. A figura n.º 15 constata algumas fases do deslocamento da frente. A numeração das linhas que representam a posição do FPA, segue a ordem cronológica. Assim a seqüência 1, 2, 3 representa o trajeto mais freqüente até o trópico e a posição 4 mostra o deslocamento da frente como frente quente ou seja o recuo da frente.

A frente polar, contudo, pode após ter atingido o trópico, progredir para o norte, pelo litoral até o paralelo de 10º, ou então pelo interior, atingindo Mato Grosso, poderá estender-se até o paralelo de 5º no Amazonas.

⁴¹ No nosso pequeno trabalho "Contribuição ao estudo das massas de Ar da Bacia do São Francisco," focalizamos este assunto.

Nestes casos, em geral, ela progride com o caráter de uma "Shear line".⁴²

SUMMARY

The *troughs induced* phenomena, which has a purely dynamic origin, they come from the surges of the air flux, and they may to provok the development of the nebulosity's bands, bringing rainfalls according to the intensity of the phenomena.

Those troughs induced may suffer a dislocation according to the evolution of the circulatory system provoked by the invasion of the new polar cold masses from the south of the continent.

In the first part of the work are studied the behavior of the atmospheric flux accordingly to the theoretic possibility of their development "troughs induced" of pressure and the evolution of the elapsed meteorological time.

Based on the conclusions obtained, the author searches to establish to the eastern brazilian band, a climatological study purely dynamic, which makes e detach: the general circulation of the atmosphere, the secondary circulation, and the displacement of the air masses, the relief, and the geographical position of each locality, the year period which they analyse the phenomena, and the quantity of rainfall registered in the maps of the isohyets.

Aiming to get a selection of the areas with the same possibilities of time system study and with the common climatological characteristics, the author had immerse into the climatological board and had created four different divisions according to the seasons of the year. In fact the gathering of the boards became possible to define those different areas with the same annual possibilities of the climatic system. The organization of maps of those areas, following an adequate code, conduces to the informer boards to the climate of every place or area.

Having as a base the works "Pre-knowledge time" and "Superior circulation" by Adalberto Serra, the author sees by the several sequences of those climatic charts showed, the strong incidence of meteorological situations *theoretically probably* — and responsibly by the rainy periods in our country.

So the "troughs induced of pressure" they gain evidence and also permit to explain the presence of the rainfalls and the average directions of the wind, principally in the seashore.

Versão: LÊDA CHAGAS PEREIRA RIBEIRO

RÉSUMÉ

Les phénomènes de pression "Calhas induzidas" (troughs induced) d'origine purement dynamique, apparus dans les ondulations du flux de l'air, peuvent provoquer le développement de bandes de nébulosité, qui produisent des pluies d'accord avec l'intensité du phénomène.

Ces "Calhas induzidas" pourront souffrir des déplacements selon l'évolution du système circulaire, causée par l'invasion de nouvelles masses d'air polaires au sud du continent.

Dans la première parte de l'étude, l'auteur a analysé le comportement du flux atmosphérique concernant la possibilité théorique du développement de ces *calhas induzidas* de pression et l'évolution du temps météorologique qui en résulte.

Ayant comme base les conclusions obtenues, l'auteur a essayé d'établir, pour la bande orientale brésilienne, une étude climatologique de caractère essentiellement dynamique; dans celle-ci on a fait ressortir: les déplacements de masses d'air, le relief, la position géographique de chaque local, la période de l'année où les phénomènes sont analysés, et la quantité de pluies enregistrée dans les cartes de *isohyets*.

Dans le but de parvenir à une sélection de zones avec les mêmes possibilités d'étudier le temps et avec des caractéristiques climatiques communes, l'auteur a disséqué le cadre climatique, en quatre périodes distinctes qui correspondent aux saisons de l'année. Ainsi ont apparus les cadres climatiques pour chaque saison de l'année. La réunion de ceux-ci a permis de définir des zones distinctes avec les mêmes possibilités annuelles de comportement climatique.

La carte avec ces zones, d'après une codification convenable, nous conduit à des tableaux informatifs quant au climat de chaque local ou zone.

Fondé sur les travaux "Previsão do Tempo" et "Circulação Superior" de Adalberto Serra, l'auteur vérifie d'après les nombreuses série de cartes du temps qu'on y trouvent, la forte incidence de situations météorologiques *théoriquement probable* — et qui sont responsables des périodes de pluie au Brésil.

C'est ainsi que les "Calhas induzidas de Pressão" deviennent évidentes et expliquent la présence de pluies et de directions moyennes de vents, principalement dans la zone du littoral.

Versão: OLGA BUARQUE DE LIMA

⁴² Maiores detalhes o leitor poderá encontrar na *Circulação Superior* de ADALBERTO SERRA, às págs. 564 e 565, sob o tópico "Circulação Secundária". Este pequeno capítulo por nós escrito está, em muito baseado no que ali se acha exposto, e a própria figura aqui por nós apresentada é uma transcrição da fig. n.º 219 daquele trabalho, a qual tomamos a liberdade de transcrever.