

Barotropic Wave Propagation and Instability, and Atmospheric Teleconnection Patterns

A. J. SIMMONS

European Centre for Medium Range Weather Forecasts, Shinfield Park, Reading, UK

J. M. WALLACE

Department of Atmospheric Sciences, University of Washington, Seattle, 98195

G. W. BRANSTATOR

National Center for Atmospheric Research,¹ Boulder, CO 80307

(Manuscript received 22 October 1982, in final form 28 January 1983)

By: Thamirys Cavaton

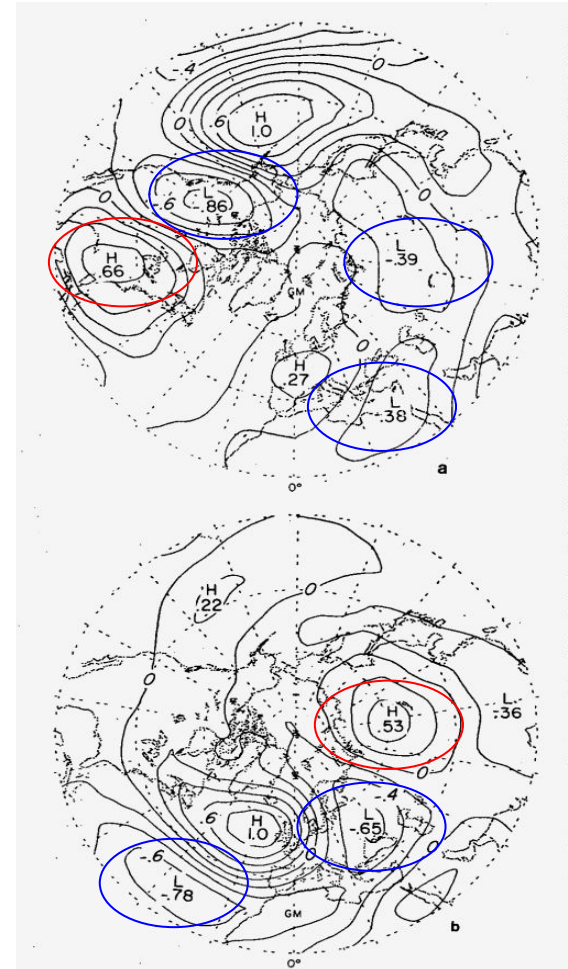
1. Introduction
2. Proposal of the article
3. The barotropic model
4. The linear response to tropical forcing
5. Linear initial-value problems
6. Normal-mode instability of the climatological basic state
7. Solutions of the eigenvalue problem
8. The energetics of the normal mode
9. Nonlinear initial-value problems
10. Some nonlinear forced solutions
11. Sensitivity to the basic state
12. Discussion

Motivação do artigo

1. A semelhança entre o **padrão do PNA** e o padrão da altura geopotencial no hemisfério norte durante o inverno vem apresentando um **aquecimento anormal**.
 - a. Sugerindo **dois modos de dispersão de ondas de rossby** localizadas na fonte → isso pode indicar um padrão de teleconexão
 - i. consequências dos processos de operação dinâmico em em larga escala do que as características das ondas de rossby ou do tempo de vida das ondas baroclínicas
2. Forçantes externas da atmosfera como anomalias da temperatura da superfície do mar e processos na superfície terrestre nas regiões do
 - a. Pacífico Equatorial
 - b. Atlântico norte subtropicalpodem mostrar essa alteração

Introduction

1. A tendência para correlacionar um ponto no mapa para uma altura no campo do geopotencial mostra-se geograficamente dependente da
 - a. estrutura das ondas (referidas aos padrões de teleconexões)
2. Durante o inverno o padrão dominante de teleconexão é melhor definido nos médios níveis acima da troposfera
3. Pacific North American (PNA → Figure 1a):
 - a. o padrão de correlação sobre o setor do atlântico tem correlação com West Atlantic e East Atlantic (EA) → Figure 1b



Propósito do artigo



É determinar o clima por meio de observações dos padrões de teleconexões simulados a partir de modelo barotrópico global linearizado sobre a climatologia média do estado básico durante o inverno com distribuição local das forçantes

The barotropic model

1. é composto de um truncamento triangular espectral representando campos globais
2. versão barotrópica de modelo de multicamadas desenvolvido por Hoskins e Simmons (1975)
3. a maioria dos cálculos são oriundos do número de onda 21(T21)
 - a. alta resolução com o truncamento de comprimento de onda 42 (T42) → pequena escala de resolução 0.3 dias
4. Os dados serão apresentados em escala de decaimento de 5 e 10 dias
5. o modelo é
 - a. linear
 - b. e tem difusão de quarta ordem
6. Utilizou-se um modelo de equações que computaram uma forçante para um fluxo básico estacionário

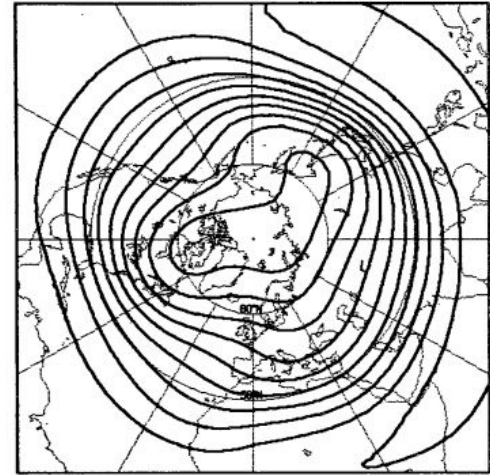


FIG. 2. The climatological-mean 300 mb streamfunction for January. The contour interval is equivalent to a 160 m interval in geopotential height computed by applying the geostrophic approximation at 45°N.

The linear response to tropical forcing

1. Uma série de 240 a cada 10 dias com integração
2. Escala de tempo de 5 dias para o arrasto linear
3. **Mostrou uma** resposta fraca resultante da alta taxa de dissipação
 - a. revelando que as forçantes tropicais excitam o trem de ondas com amplitudes cujas as características maiores que o EASTERN PACIFIC OCEAN e menor que a extensão do North-Eastern → isso comparado com Simmons (1982)
4. Diferentes regiões de forçantes tiveram a máxima resposta com diferentes sinais
5. Desvio padrão demonstram
 - a. uma tendência das soluções individuais
 - b. máxima sobre o norte do Pacífico e Atlântico
6. Apresenta similaridade entre Fig 1 e 4 baixa resolução do GCM

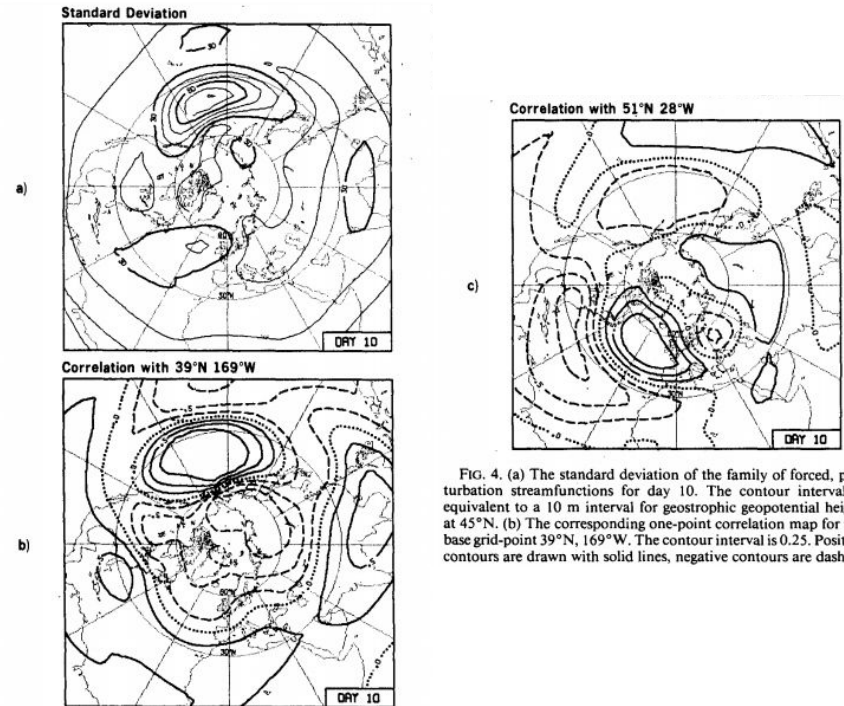


FIG. 4. (a) The standard deviation of the family of forced, perturbation streamfunctions for day 10. The contour interval is equivalent to a 10 m interval for geostrophic geopotential height at 45°N. (b) The corresponding one-point correlation map for the base grid-point 39°N, 169°W. The contour interval is 0.25. Positive contours are drawn with solid lines, negative contours are dashed,

The linear response to tropical forcing

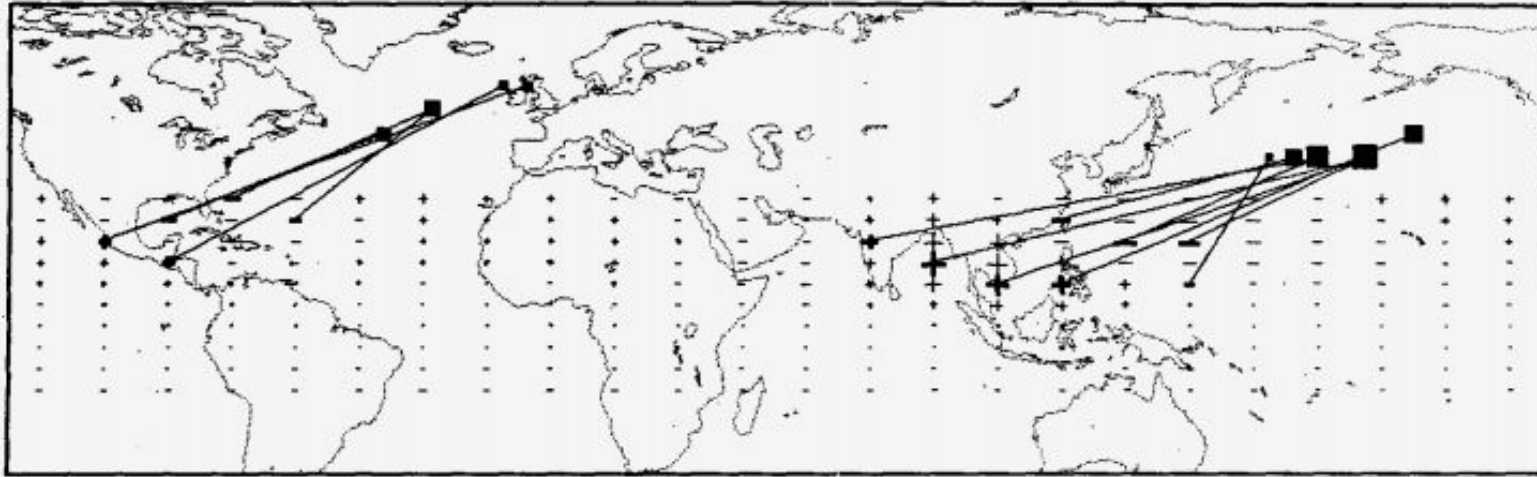


FIG. 5. The relationship between the location of the forcing region and the maximum midlatitude response excited from it. Details are given in the text.

1. o sinal de maior perturbação existe em qualquer parte do globo em 10 dias.
2. Regiões de preferência de resposta são sobre o Nordeste do Pacífico e Atlântico
3. Grandes perturbações sobre o Pacífico e sobre Sudeste da Ásia e do noroeste do Pacífico tropical
4. Os padrões no Pacífico são particulares:
 - a. o sinal muda entre o central e o extremo western tropical pacific
5. Padrões de chuva + anomalias de pressão superficiais estão associados com Southern Oscillation
6. Os desvios padrões cresceram:
 - a. 82m (10 dias); e
 - b. 113m (5 dias).

Linear initial-value problems

1. mostra um perturbação de 2, 6 e 10 dias para um distúrbio negativo centrado em 30°N no Meridiano de Greenwich
2. Nos primeiros 2 dias os distúrbios
 - a. se propagam em um trem de onda
 - i. em direção leste mais que inicialmente gerando um bias em direção ao equador das ondas de propagação
3. a dispersão continua no maior centro até o 6 dia
4. mudanças significativas ocorrem de 6 a 10 dias:
 - a. o maior centro está localizado no Pacífico
 - i. se move lentamente para leste sem perder amplitude
 - b. formação de um centro negativo no sul, sobre a Sibéria e oeste da América do Norte
 - c. um positivo centro se desenvolve no s EUA
 - d. similaridade com o padrão de PNA a teleconexão

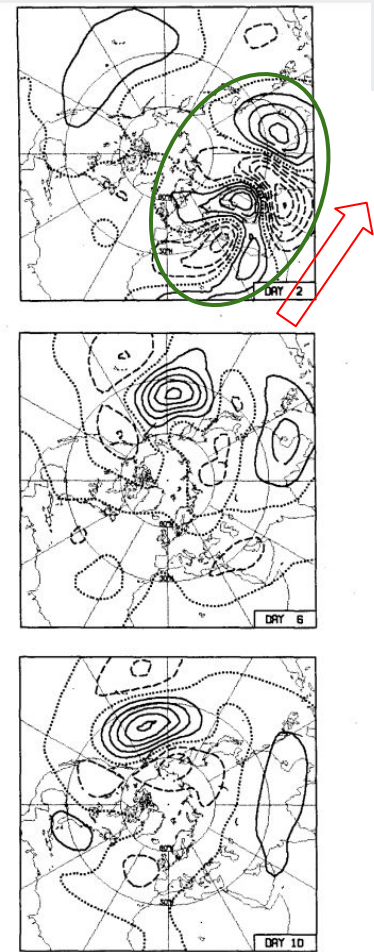
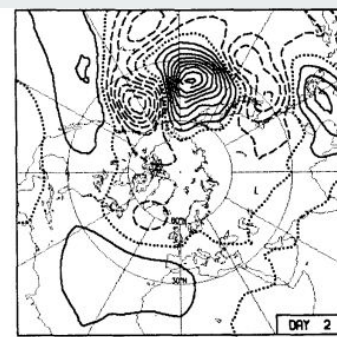


FIG. 6. The perturbation streamfunction at days 2, 6 and 10 for an initial negative disturbance centered at 30°N, 0°E. The contour interval is $1/10$ of the initial maximum amplitude. Positive contours are drawn with solid lines, negative contours with dashed lines, and the zero contour is dotted.

Linear initial-value problems

1. inicialmente temos uma perturbação negativa centrada em 30°N , 120°E .

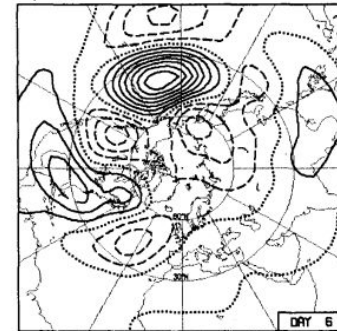


Dia 2

- a. inicialmente uma dispersão na porção norte

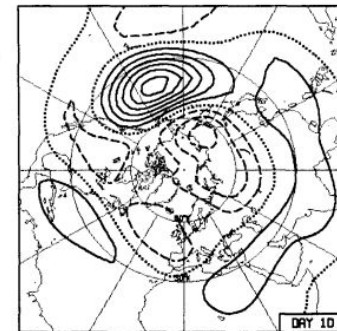
Dia 6:

- b. um grande distúrbio
- c. a estrutura ficou semelhante a de 10 dias



Dia 10

- d. a amplitude da perturbação diminuiu
- e. há pequenas mudanças nos padrões de onda, exceto no Atlântico



** a grande amplitude pode ser chamada de padrão PNA

Linear initial-value problems

1. Perturbação inicial centrada em 30-60°N em um campo de 6 dias
2. a maior amplitude está localizado na Pacifico
3. a presença de valores positivos e negativos mostra que há dois casos individuais

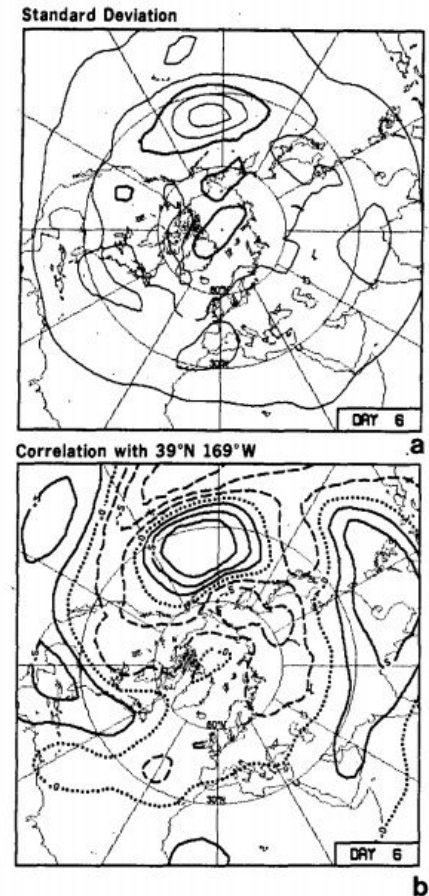


FIG. 8. Standard deviation (a) and one-point correlation (b) maps as in Fig. 4, but for initial perturbations centered between 30 and 60°N. The contour interval for standard deviation is half of that used in the preceding two figures.

Linear initial-value problems

1. A localização inicial da perturbação nos trópicos ou subtropicais do hemisfério norte é um modo eficiente de excitar repostas características (POR QUE?)
2. Desvios padrão e correlação do dia 6 para uma **perturbação** localizada entre **15°S e 30°N**
3. o max de desvio padrão está sobre o pacífico, 2x maior que a perturbação inicial e visto nas médias latitudes (Fig 8)
4. temos um trem de ondas sobre o Pacífico e Norte da América
5. máximo de amplitude e desvio padrão em 51N, 28W

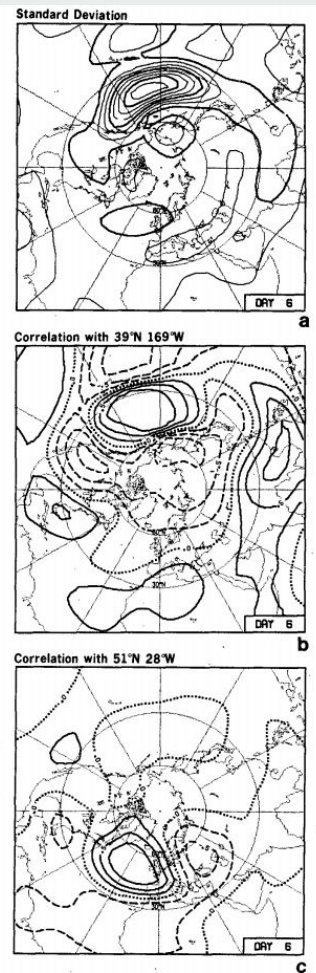



FIG. 9. As in Fig. 8, but for initial perturbations centered between 15°S and 30°N. The lower panel (c) is the correlation map for 51°N, 28°W.

- 
1. **Perturbação inicial: 15°N e 90°W**
 2. tem um padrão no oeste do Atlântico,
 - a. amplitude menor do que a encontrada no Atlântico

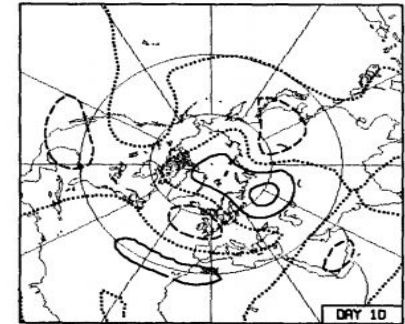
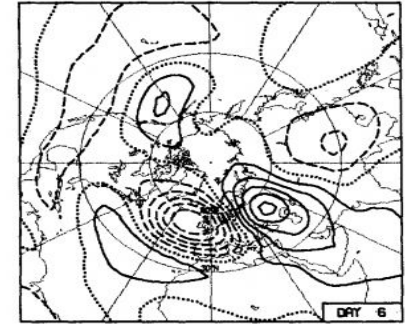
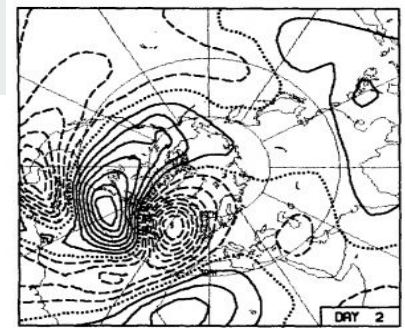


FIG. 10. As in Fig. 6, but for an initial perturbation at 15°N, 90°W.

Normal-mode instability of the climatological basic state

o fluxo não é um senóide regular, ele respeita a equação:

$$e^{\sigma t} [A(\lambda, \theta) \sin \omega t + B(\lambda, \theta) \cos \omega t],$$

para a climatologia de janeiro em 300mb

1. crescimento rápido do modo normal
2. crescimento exponencial em 100 dias foi possível detectar a estrutura
3. nos últimos dias o distúrbio vai para leste
 - a. decai sobre o Atlântico
4. tem um centro negativo sobre a Islândia, depois apresenta padrões dominantes no centro do Pacífico
5. com e-folding time o modo normal tem instabilidade barotrópica ao invés de baroclínica
6. distúrbio crescendo de fator 3 entre os dias 178 e 183
7. o modo cresce a uma taxa de 6.8 dias
8. o crescimento do modo baroclínico depende do estado básico

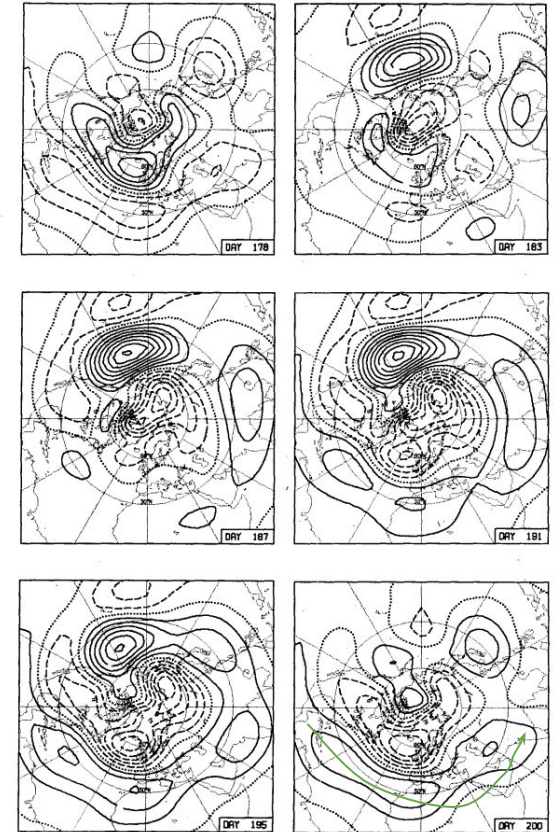


FIG. 11. The streamfunction of the most unstable normal mode at selected days within one-half cycle of its oscillation. The contour interval is arbitrary.

Estrutura do modo normal

É dada pela equação

$$e^{\sigma t} R(\lambda, \theta) \cos[\omega t - S(\lambda, \theta)].$$

1. Representação da amplitude (R) e a fase (S) para do modo normal mais instável, sendo:
 - a. contorno = R
 - b. vetor = S
2. rotação horária;
3. maior amplitude no Pacífico Nordeste;
4. o modo mais instável ajuda a interpretar o longo termo.

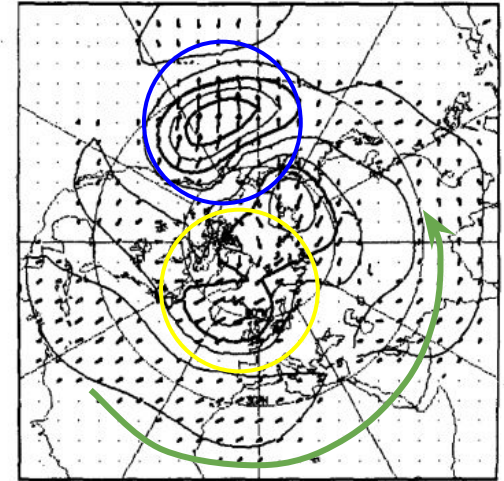


FIG. 12. A representation of the amplitude and phase of the most-unstable normal mode. The contour interval for the amplitude is one-fifth of its maximum value, and the phase arrow is directed upward at the point of maximum value of the streamfunction. Further detail is given in the text.

No Linear drag (6.8 days^{-1})

1. Para um período de 45 dias
2. Utilizou-se um
 - a. modo neutro livre, e
 - b. componente de onda estacionária;
3. **Perturbação inicial:**
 - a. no dia 15
 - b. a forçante em 10°N 120°E
4. quando a perturbação é global a amplitude é menor
5. com 60 dias
 - a. o tempo da fase tem o mesmo padrão de 15 dias
6. sobre o setor do Pacífico temos um valor positivo
7. tem um mesmo resultado que um arrasto de 5 dias (Fig 11, 30% mais fraca entre 15-25 dias)

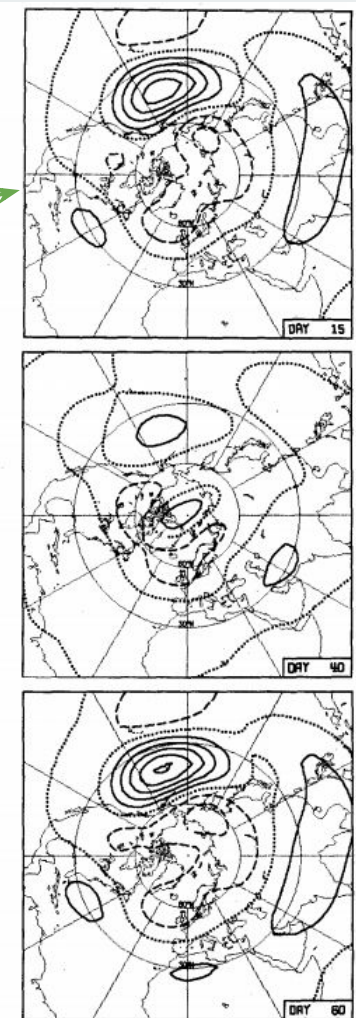



FIG. 13. The response at days 15, 40 and 60 to a forcing centered at 10°N , 120°E for a 6.8-day drag. The contour interval is 120 m.

Solutions of the eigenvalue problem

1. A estrutura dos 4 modos mais instáveis
2. **1° MODO:** 7.3 dias e um período de 40 dias (4A)
 - a.  comparado com a Fig 12 temos uma estrutura de crescimento determinada por uma integração linear, e
 - b. é o modo dominante.
3. **2° MODO:** 9,8 dias
 - a. não tem nenhuma semelhança com os padrões encontrados até agora
 - b. é um modo difícil de obter pq os seus lacks crescem devido a oscilações dos modos
4. **3° MODO:** 13 dias com período de 120 dias
 - a. se assemelha ao primeiro modo
 - b. tem um forte centro de ação em 45°N, 165°W e um trem de onda abaixo do jato
5. **4° MODO:** 29 dias por um período de 17 dias
 - a. um forte centro de ação no Nordeste do Pacífico e Dipolo Norte-Sul no setor norte do Atlântico

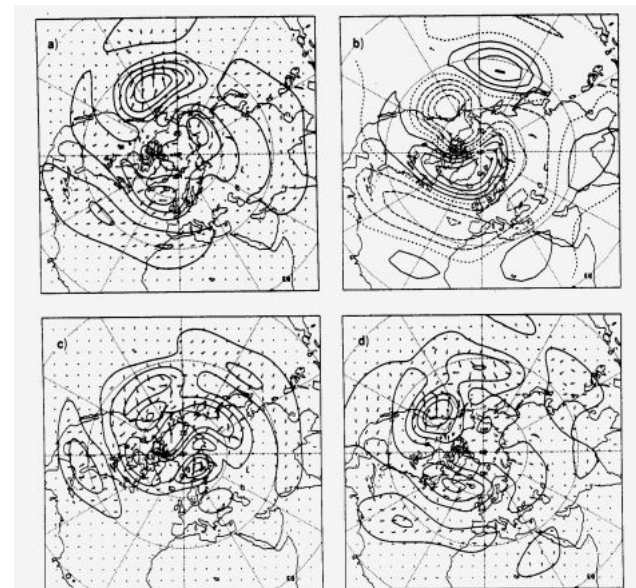


FIG. 14. The structure of the four most unstable modes [denoted (a)–(d) in order of decreasing growth rate] from the matrix eigenvalue problem. Amplitude and phase plots are used for the periodic modes, while conventional positive and negative contours are used for the spatially-stationary mode (b).

*** os demais modos incluem variações do 1 modo

*** max de amplitude do Dipolo Norte-Sul ocorre sobre leste da América do Norte

Zonal spread

1. máximo de amplitude ao longo dos polos
2. análise do verão no Hemisfério Sul do jato
 - a. tem um período de 4 dias,
 - b. decai em difusão linear, e
 - c. “seem drag”
3. é intenso na direção norte-sul
4. no setor do Atlântico Sul → sugere um fluxo para o polo do momentum dos ventos de oeste

*** o modo normal se propaga para leste

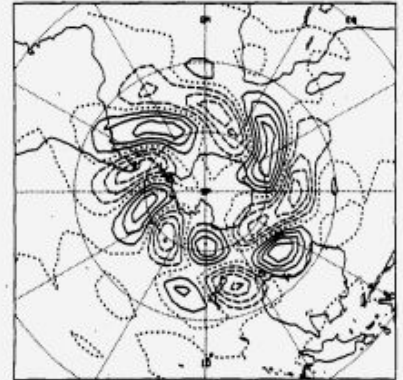
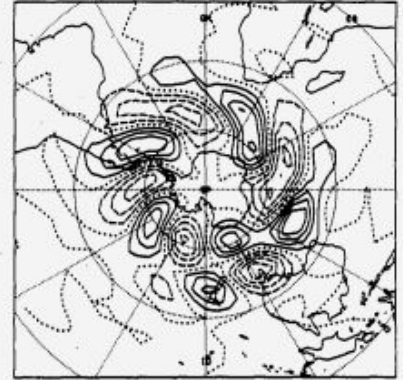


FIG. 15. A mode with maximum amplitude in the Southern Hemisphere. The perturbation streamfunction is shown at two instants separated by one-quarter of its period (about one day).

The energetics of normal mode

$$\frac{\partial KE}{\partial t} = \overline{\mathbf{E} \cdot \nabla u_b},$$

$$\mathbf{E} = -(u'^2 - v'^2, u'v').$$

- a. uma dimensão
 - b. instabilidade barotrópica do estado médio zonal básico
 - c. energia cinética é proveniente do estado básico
2. há energia transferida entre o fluxo básico e as perturbações
3. As flechas são menos intensas → tem uma positiva contribuição para o crescimento de vórtices de energia
- a. os vórtices surgem da forte componente zona sobre o Pacífico oeste e o Atlântico

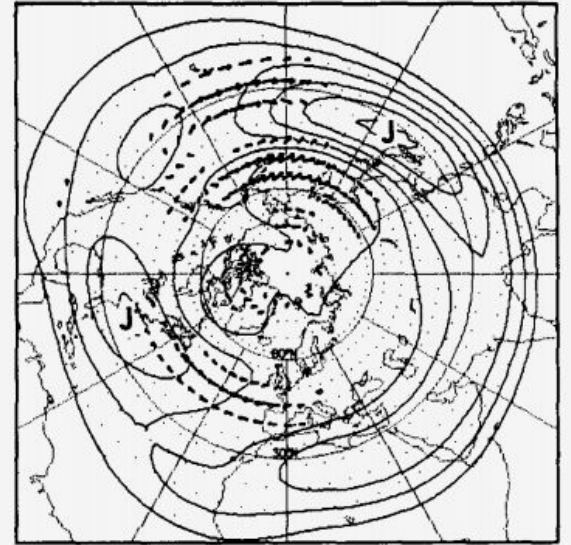


FIG. 16. The “extended Eliassen-Palm flux” \mathbf{E} averaged over one cycle of the most-unstable mode, and superimposed on isotachs of the zonal velocity component of the climatological basic state. The contour interval is 10 m s^{-1} , and jet maxima are indicated by the symbol J . The scaling of the arrows denoting the flux vector is arbitrary.

The energetics of normal mode

$$\frac{\partial KE}{\partial t} = CKx + CKy, \quad (4)$$

with

$$\left. \begin{aligned} CKx &= -\frac{1}{a} (u'^2 - v'^2) \left[\frac{1}{\cos\theta} \frac{\partial u_b}{\partial \lambda} - v_b \tan\theta \right] \\ CKy &= -\frac{1}{a} u'v' \left[\cos\theta \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\frac{u_b}{\cos\theta} \right) + \frac{1}{\cos\theta} \frac{\partial v_b}{\partial \lambda} \right] \end{aligned} \right\}$$

Here u_b and v_b are respectively the zonal and meridional velocity components of the basic state, and u' and v' are the corresponding velocities of instanta-

1. 17A: contribuição CKx
 - a. vem da de regiões diferentes dos jatos do Pacífico e Atlântico
2. 17B: contribuição de CKy
 - a. máximo localizado a northeast do forte jato do Pacífico, comparado com a magnitude de CKx

*** cerca de 98% do crescimento é dado pela perturbação, desvio da velocidade instantânea.

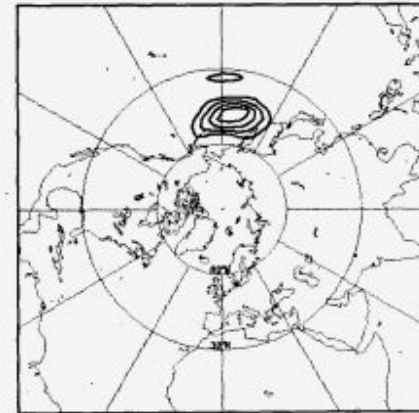
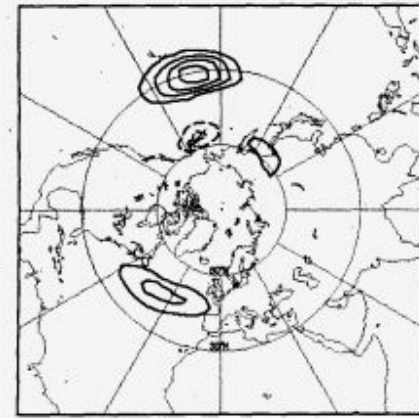


FIG. 17. Contributions to the barotropic energy conversions CKx (upper) and CKy (lower), averaged over one cycle of the most unstable mode. The contour interval is one-fifth of the maximum local contribution to CKy , and negative contours are dashed. The zero contour, and contours north of $70^\circ N$, are not drawn in order to suppress insignificant small-scale detail, much of it sensitive to the finite-difference approximations used to compute the conversions.

Nonlinear initial-value problems

1. drag de 10 days,
 2. e-folding= 22 dias para o modo mais instável
 3. instabilidade fraca pode surgir de pequenas modificações não lineares
 4. uma solução típica apresenta um desvio a partir de uma forçante em 10°N, 120°E

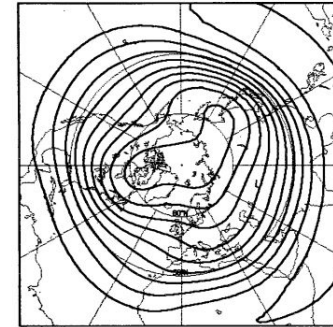
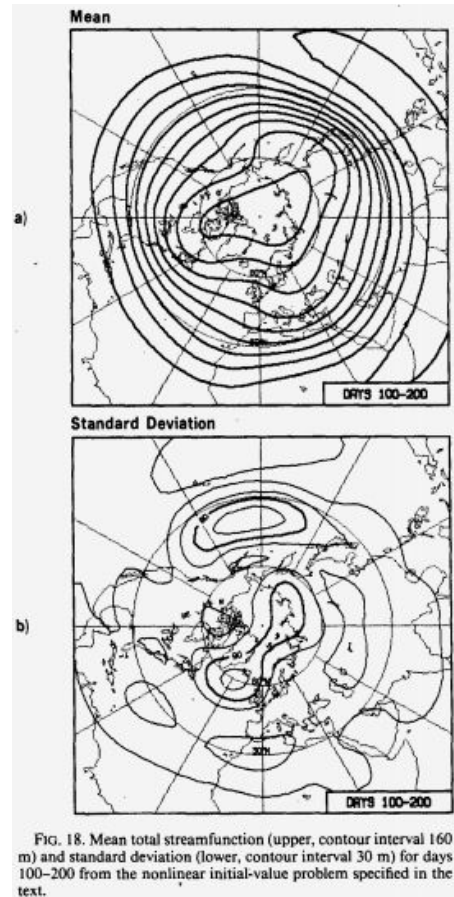


FIG. 2. The climatological-mean 300 mb streamfunction for January. The contour interval is equivalent to a 160 m interval in geopotential height computed by applying the geostrophic approximation at 45°N.

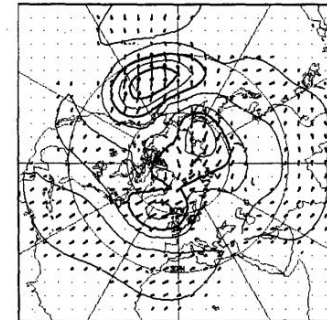


FIG. 12. A representation of the amplitude and phase of the most-unstable normal mode. The contour interval for the amplitude is one-fifth of its maximum value, and the phase arrow is directed upward at the point of maximum value of the streamfunction. Further detail is given in the text.

Nonlinear initial-value problems

1. mostra a oscilação dos primeiros 4 instantes de 12 dias, durante um ciclo regular de 50 dias
2. Painéis da esquerda
 - a. apresentam fases positivas de oscilação
 - i. que podem ter um forte contraste com a estrutura do setor leste do Atlântico,
 - b. com um bloqueio a alta e o fluxo no dia 159
3. Painéis da direita
 - a. apresentam fase de quadratura,
 - i. enfatizando o contraste com a estrutura do Pacífico.
 - b. No dia 171 tem um padrão característico no jato na Asia

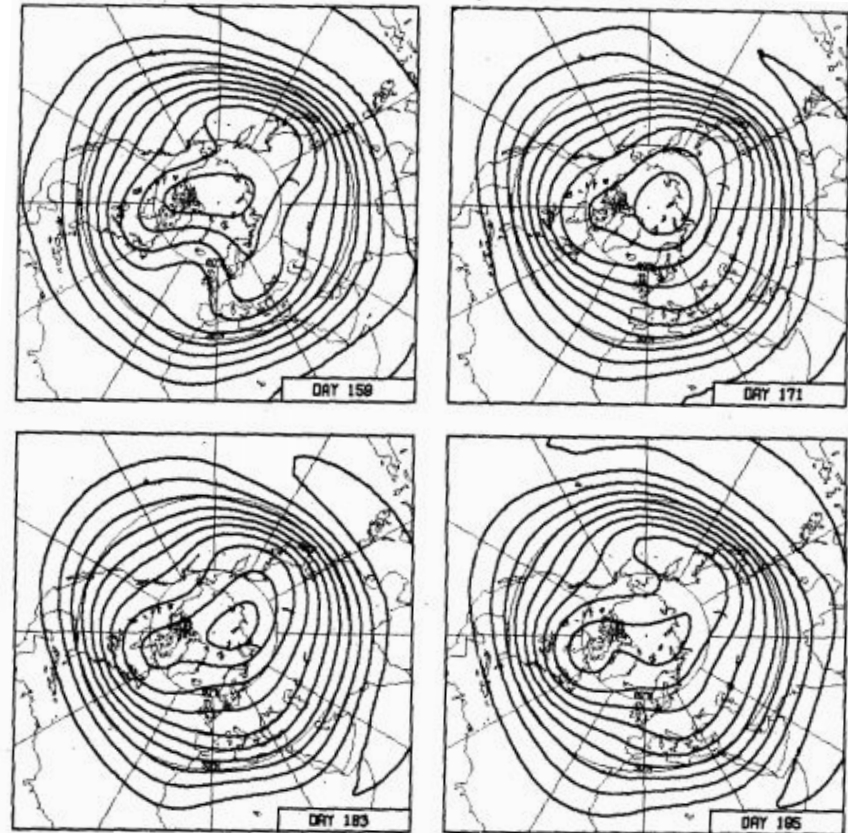


FIG. 19. Total streamfunction (contour interval 160 m) at selected times from the nonlinear initial-value problem.

Nonlinear initial-value problems

1. 39N, 161W apresentam o max desvio padrão , devido a curva acentuada
2. a oscilação não é totalmente senoidal → consistente com uma instabilidade média não linear
3. a curva mais acentuada da mesma forçante ocorre nos 100 dias → as duas soluções são bem parecidas, mostrando que a diferença de fase não é importante
4. os RESULTADOS NÃO LINEARES da resolução T42 e T21 entre os dias 100 e 200 são bem diferentes
 - a. Fig 20b → semelhante à figura 18
5. essa pequena diferença é só um transiente do longo termo. oscilações anômalas aumentam gradualmente
 - a. Fig 20c apresenta solução muito similar em 500 dias

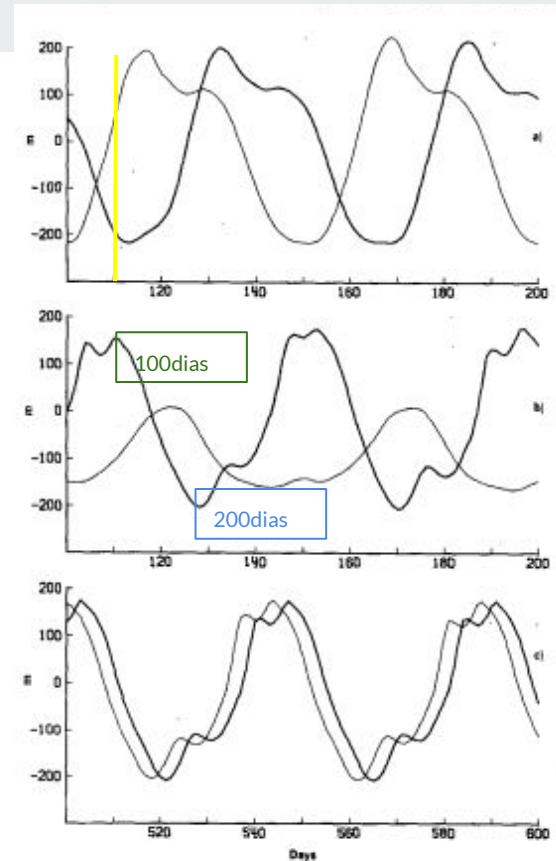


FIG. 20. Deviation of streamfunction (m) from the climatological mean at 39°N, 169°W as a function of time, for four initial-value problems: (a) days 100–200 of two T42 integrations, (b) days 100–200 of two corresponding T21 integrations, (c) days 500–600 of the T21 integrations.

Some nonlinear forced solutions

1. concentrou-se em forçantes que apresentam grandes respostas no Pacífico
2. resultados de 15 a 50 dias, drag de 5 dias
3. o nível de dissipação é essencialmente estacionário para 50 dias
4. a resposta de pequeno termo anticiclônica (21a) → é 10% maior que a resposta linear
 - a. durante o dia 15 tem um decréscimo substancial na amplitude linear calculada
5. Fig 21c → 15% mais fraca que o caso linear / não linear ciclone
 - a. o ciclone caracteriza um trem de onda referente a PNA
 - b. um fraco padrão no setor atlântico incidente no padrão leste do Atlântico
6. Fig 21d ciclone fraco
 - a. o ciclone é fraco na América do norte e no mar norte-sul do setor do Atlântico

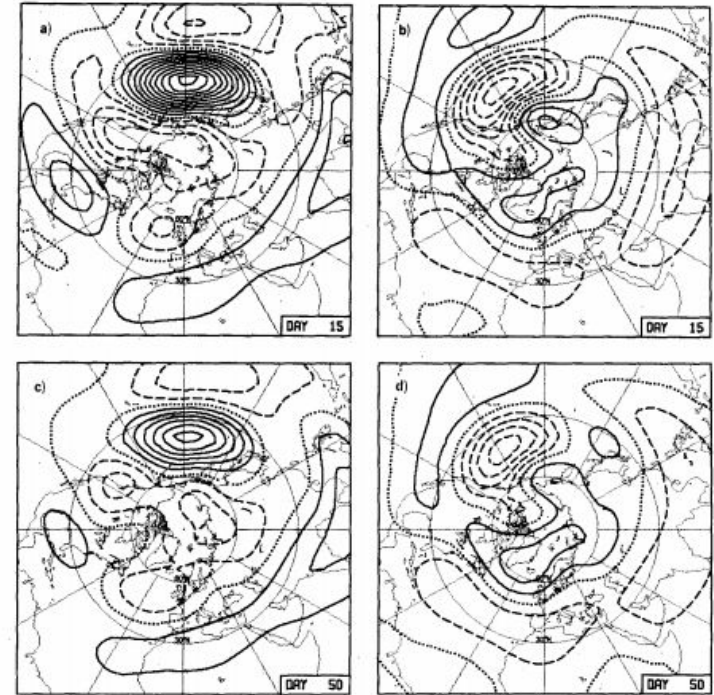


FIG. 21. Perturbation streamfunction at days 15 (upper) and 50 (lower) forced with positive (left) and negative (right) sign from 10°N , 120°E for a 5-day drag. The contour interval is 40 m.

Some nonlinear forced solutions

na fig 23a, b são os pontos de média máxima de T21 (curvas acentuada em T21 e T42

a resposta T42 fica uma resposta quase estacionária

T21 apresentam variabilidade extremamente regular, 14 dia a 90 dias) → quase periódico

** altos valores de coeficiente de difusão deve conduzir a melhores resultados em T21 (confirmado pela lighter curve fig 23c)

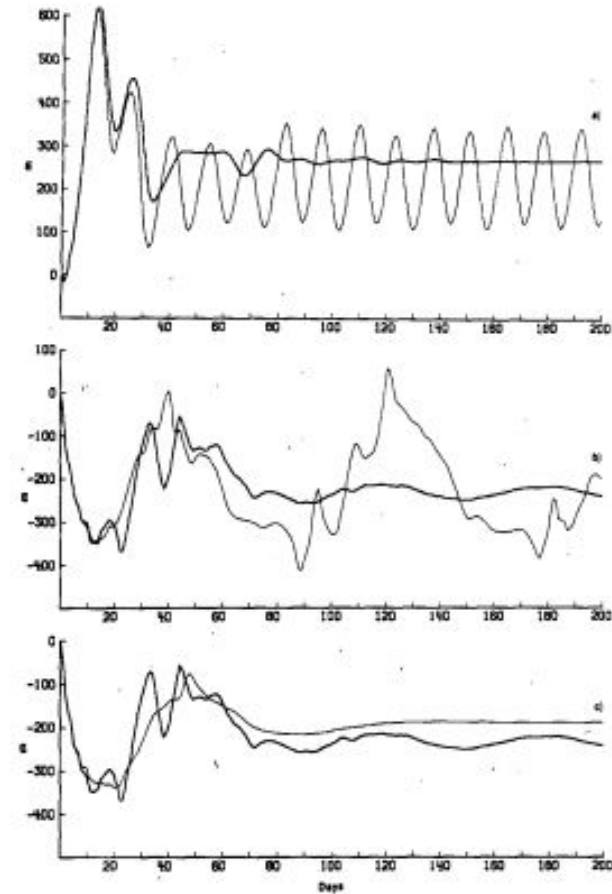


FIG. 23. Deviation of streamfunction (m) from the climatological mean as a function of time, for resolution T42 (heavy lines) and T21 (light lines) with a 10-day drag: (a) at 39°N , 169°E , for forcing from 10°N , 120°E ; (b) at 34°N , 169°E , for forcing from 20°N , 150°E ; (c) as in (b), but for a T21 integration with a higher diffusion coefficient.

Some nonlinear forced solutions

1. (junção figura 23b e 24) mostra que não devemos interpretar valores espúrios em modelos de baixas resolução
2. drag de 10 dias na solução das duas oscilações → ambos t21 e t42 tem que ter resolução suficiente
3. t42 mostra uma grande oscilação abaixo de 60 dias
4. em suma tivemos grandes diferenças nas soluções de alta e baixa dos modelos

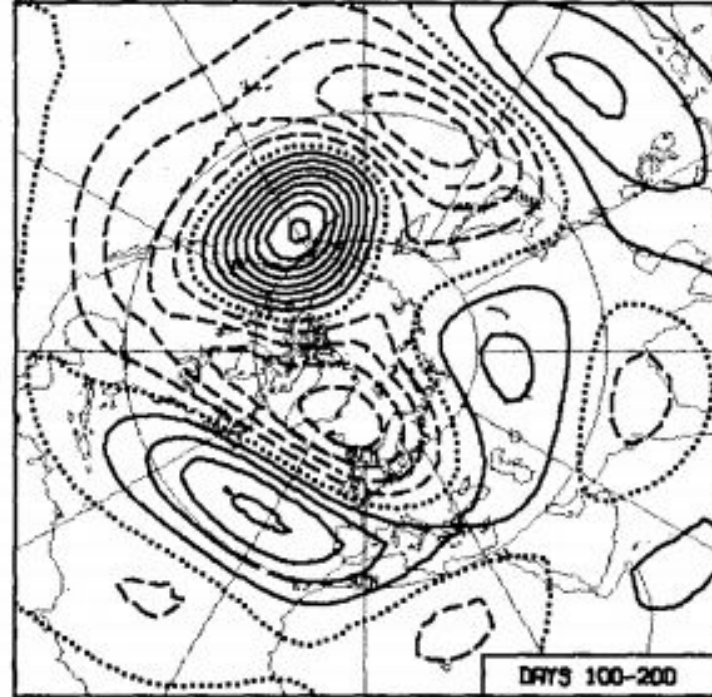


FIG. 24. The mean response for days 100–200 to forcing from 20°N , 150°E computed using a 10-day drag and a T21 resolution with a higher diffusion coefficient. The contour interval is 40 m.

Sensitivity to the basic state

- média de 100 dias
- 300mb
- invernos de 1980-81 e 81-82
- imagens diárias de ECMWF
- drag de 5 dias
- range from 15S a 30N
- intervalos longitudinais de 30°
- Comparado com a fig 4 temos uma baixa resposta no Pacífico e maior no Atlântico (1981-1982)
- o mapa de correlação mostra uma correlação baixa correlação com PNA)
- a amplitude aumenta ao longo do meridiano de Greenwich

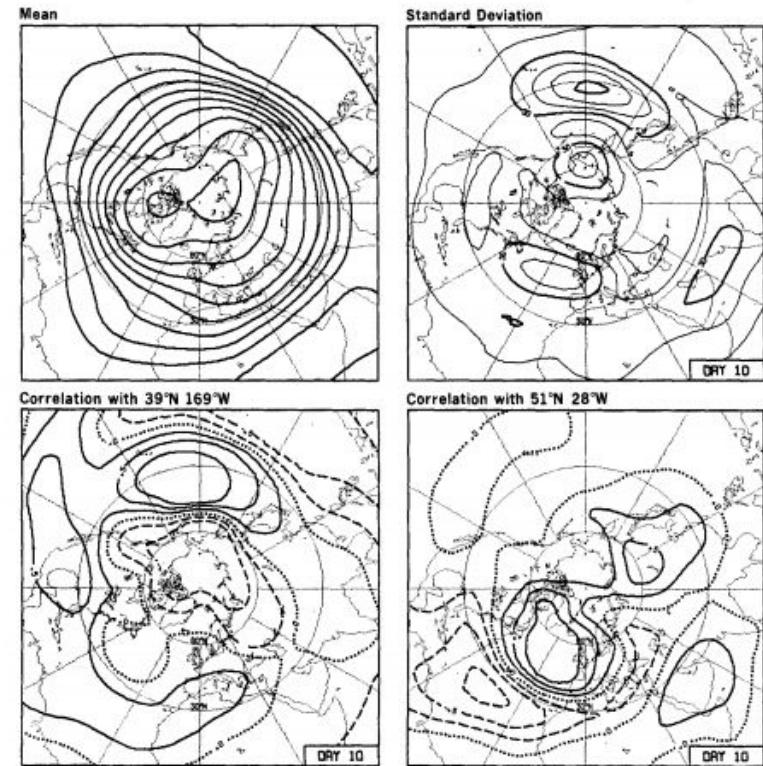


FIG. 25. The mean 300 mb streamfunction for the period 1 December 1981 to 10 March 1982 (upper left), plus statistics of the response of this mean state to a family of forcings. Details are as in Fig. 4.

Sensitivity to the basic state

modo normal do lado direito, estado básico na esquerda

o estado básico é computado como resposta de longo termo do fluxo climatológico forçado negativamente (acima) e abaixo (meio) → 20N, 150° E

estado básico para 1981-82

upper example: maior amplitude sobre o Norte Pacífico → corresponde a uma baixa próximo ao polo norte → depois um baixo máximo sobre o norte do Atlântico → somente um o padrão fraco do PNA é visto nesse modo

imagens centrais, têm uma amplitude significativa sobre os hemisférios

imagens baixas, tem pequena amplitude sobre o Pacífico., do que no plot alto

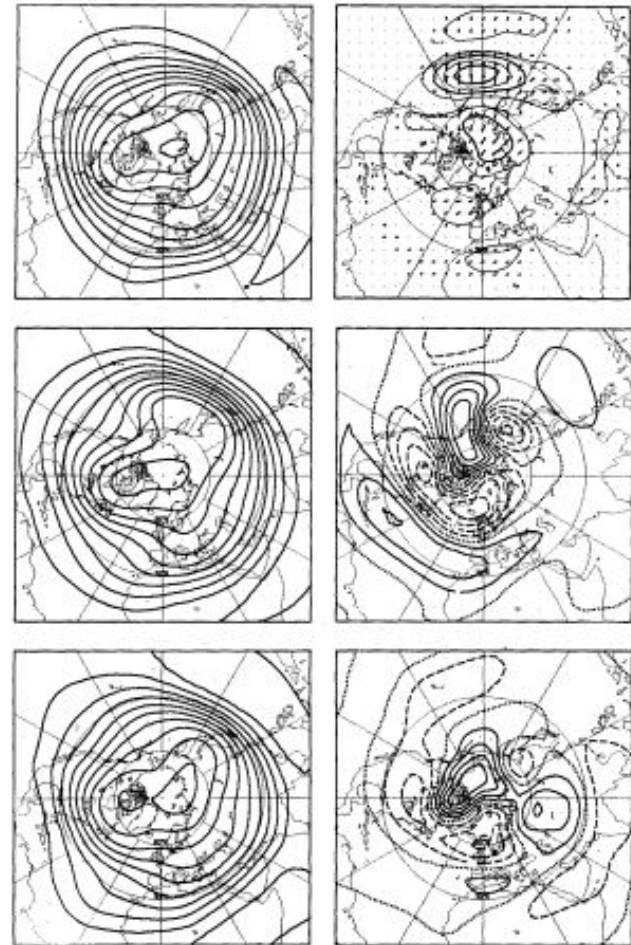


FIG. 26. Three basic states (left), and the structures of the corresponding most-unstable normal modes (right), plotted in amplitude and phase form for the upper (periodic) mode, and by positive and negative contours for the lower two (spatially-stationary) modes.

Discussion

forçantes por aquecimento tropical:

1. as respostas apareceram em lugares distantes da forçante
2. forçantes no sudeste da Ásia e do noroeste tropical do Pacífico
 - a. pode gerar uma grande resposta no Pacífico central tropical
3. há uma distribuição do calor convectivo oriundo das anomalias de chuvas associadas a **Oscilação Sul**
4. há uma relação entre o Pacífico e norte da América

baixas frequências:

1. conversão de energia barotrópica amplifica os distúrbios
 - a. instabilidades baroclínicas
 - i. fluxo associado ao decaimentos e amadurecimento das ondas baroclínicas

modelos numéricos

1. erros sistemáticos podem subestimar o padrão de ondas estacionárias e superestimar



Obrigada !