

REVIEWS OF GEOPHYSICS, VOL. 26, NO. 3, PAGES 459–494, AUGUST 1988

Alternative Theories of Atmospheric Teleconnections and Low-Frequency Fluctuations

JORGEN S. FREDERIKSEN

*Division of Atmospheric Research, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization
Aspendale, Australia*

PETER J. WEBSTER

Department of Meteorology, The Pennsylvania State University, University Park

Elen Daiane Pelissaro
Thais Fujita

1. Introdução

Duas linhas de pesquisa foram desenvolvidas nas ciências atmosféricas, ambas relacionadas com a variabilidade de baixa-frequência:

1. Avanço da previsão para as médias (5 – 10 dias) e baixas frequências (10 – 90 dias).
2. Climatologia dinâmica para a previsão da variabilidade interanual mesmo que seja estatisticamente.
 - Ex: respostas remotas dos sistemas climáticos que são importantes para construir a variabilidade interanual.
Relação entre as anomalias do clima tropical e extratropical.

1. Introdução

Duas linhas de pesquisa foram desenvolvidas nas ciências atmosféricas, ambas relacionadas com a variabilidade de baixa-frequência:

1. Avanço da previsão para as médias (5 – 10 dias) e baixas frequências (10 – 90 dias).
2. Climatologia dinâmica para a previsão da variabilidade interanual mesmo que seja estatisticamente.
 - Ex: respostas remotas dos sistemas climáticos que são importantes para construir a variabilidade interanual.
Relação entre as anomalias do clima tropical e extratropical.

- Modelagem e estudos observacionais de variabilidade de baixa-frequência
- Teleconexões de forçantes remotas
- Respostas climáticas anômalas

1. Introdução

Duas linhas de pesquisa foram desenvolvidas nas ciências atmosféricas, ambas relacionadas com a variabilidade de baixa-frequência:

1. Avanço da previsão para as médias (5 – 10 dias) e baixas frequências (10 – 90 dias).
2. Climatologia dinâmica para a previsão da variabilidade interanual mesmo que seja estatisticamente.
 - Ex: respostas remotas dos sistemas climáticos que são importantes para construir a variabilidade interanual. Relação entre as anomalias do clima tropical e extratropical.

- Modelagem e estudos observacionais de variabilidade de baixa-frequência
- Teleconexões de forçantes remotas
- Respostas climáticas anômalas

- Observações e teoria são distantes.
- Existem diversas inconsistências.
- Oferecer hipóteses de que os autores julgam ser mais consistentes fisicamente e em fundamentos.
- A questão da variabilidade de baixa-frequência deve ser tratada em relação ao “fluxo básico tridimensional completo” partindo do entendimento que o fluxo básico é instável e apresenta certa hierarquia de estruturas modais que vão de escalas temporais sinóticas ao domínio de baixa-frequência.

1. Introdução

- Examinar os estudos de observações de baixa-frequência e os mecanismos que determinam o estado básico em três dimensões.
 - Estudos teóricos, de modelagem e observacionais pertinentes a:
 - Ondas de dispersão de Rossby,
 - Condições do estado estacionário
 - Teoria da instabilidade tridimensional.

1. Introdução

- Examinar os estudos de observações de baixa-frequência e os mecanismos que determinam o estado básico em três dimensões.
 - Estudos teóricos, de modelagem e observacionais pertinentes a:
 - Ondas de dispersão de Rossby,
 - Condições do estado estacionário
 - Teoria da instabilidade tridimensional.

Fornece uma generalização natural e um casamento com as ondas de dispersão de Rossby, teorias de respostas estacionárias de Rossby e a teoria de instabilidade zonal média.

1. Introdução

- Examinar os estudos de observações de baixa-frequência e os mecanismos que determinam o estado básico em três dimensões.
 - Estudos teóricos, de modelagem e observacionais pertinentes a:
 - Ondas de dispersão de Rossby,
 - Condições do estado estacionário
 - Teoria da instabilidade tridimensional.

Fornece uma generalização natural e um casamento com as ondas de dispersão de Rossby, teorias de respostas estacionárias de Rossby e a teoria de instabilidade zonal média.

Em um contexto linear, essa teoria de instabilidade geral cria uma formalidade para analisar anomalias geradas pela evolução e amplificação dos ruídos internos às respostas das forçantes anômalas.

- bloqueios
- Outros padrões de teleconexão

Entre os mecanismos apresentados, são:

1. Mecanismos de instabilidade dos dipolos "baroclínico-barotrópico"
2. Região de acumulação e dispersão das ondas de energia

2. Mecanismo de determinação do estado tridimensional do tempo-médio da

atmosfera e o estado-base da estrutura tridimensional com funções do aquecimento global e a orografia.

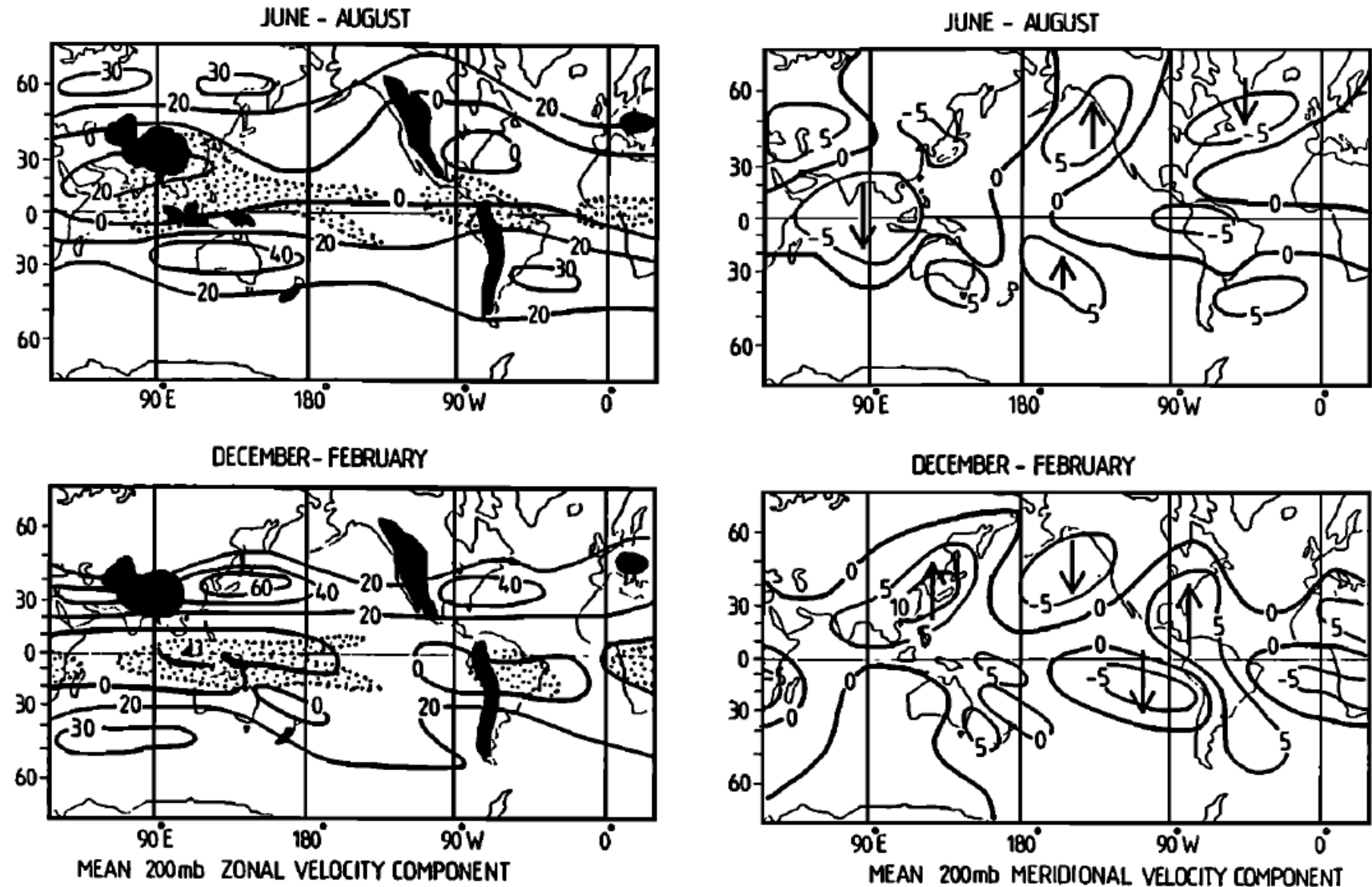


Fig. 1. Global distributions of the 200-mbar time-mean zonal velocity component (\bar{u} , $m s^{-1}$, left panels) and meridional components (\bar{v} , $m s^{-1}$, right panels) for the boreal summer (upper panels) and boreal winter (lower panels). The stippled regions indicate cold outgoing long-wave radiation (i.e., convection), and the solid areas show the major orographic features [after Webster, 1983].

2. Mecanismo de determinação do estado tridimensional do tempo-médio da atmosfera

o estado-base da estrutura tridimensional com funções do aquecimento global e a orografia.

Inverno boreal:

- Jatos máximos estão localizados a jusante das maiores feições orográficas.
- Conclusão: variação longitudinal do fluxo médio é uma função das funções orográficas.

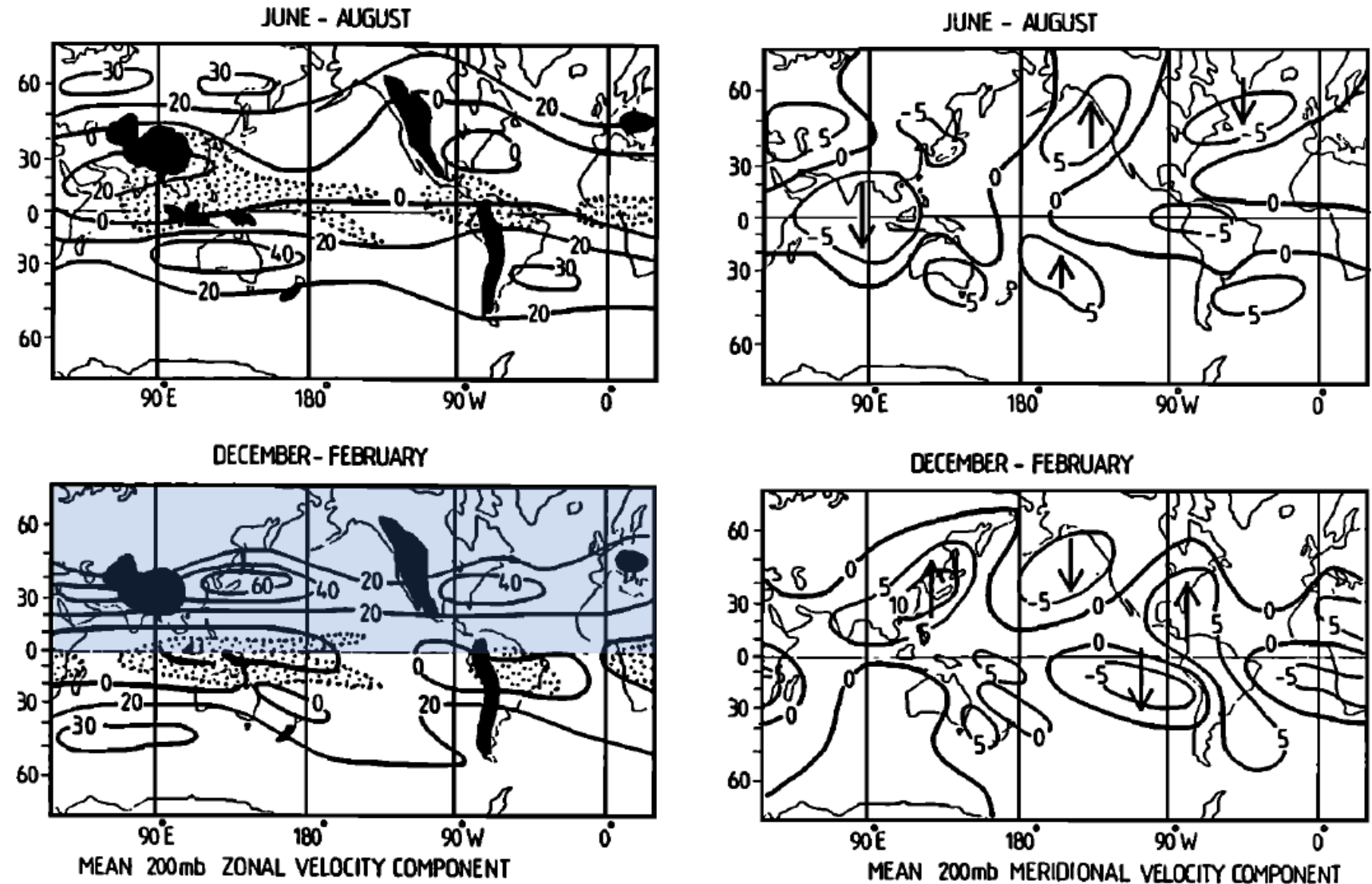


Fig. 1. Global distributions of the 200-mbar time-mean zonal velocity component (\bar{u} , m s⁻¹, left panels) and meridional components (\bar{v} , m s⁻¹, right panels) for the boreal summer (upper panels) and boreal winter (lower panels). The stippled regions indicate cold outgoing long-wave radiation (i.e., convection), and the solid areas show the major orographic features [after Webster, 1983].

2. Mecanismo de determinação do estado tridimensional do tempo-médio da atmosfera

Inverno austral:

- Jatos máximos também estão sobre o equador e abaixo da convecção máxima de baixa latitude. Inclusive, o jato mais forte encontra-se abaixo do aquecimento máximo do sul asiático. E não há feições orográficas.

Inverno boreal:

- Jatos máximos estão localizados a jusante das maiores feições orográficas.
- Conclusão: variação longitudinal do fluxo médio é uma função das funções orográficas.

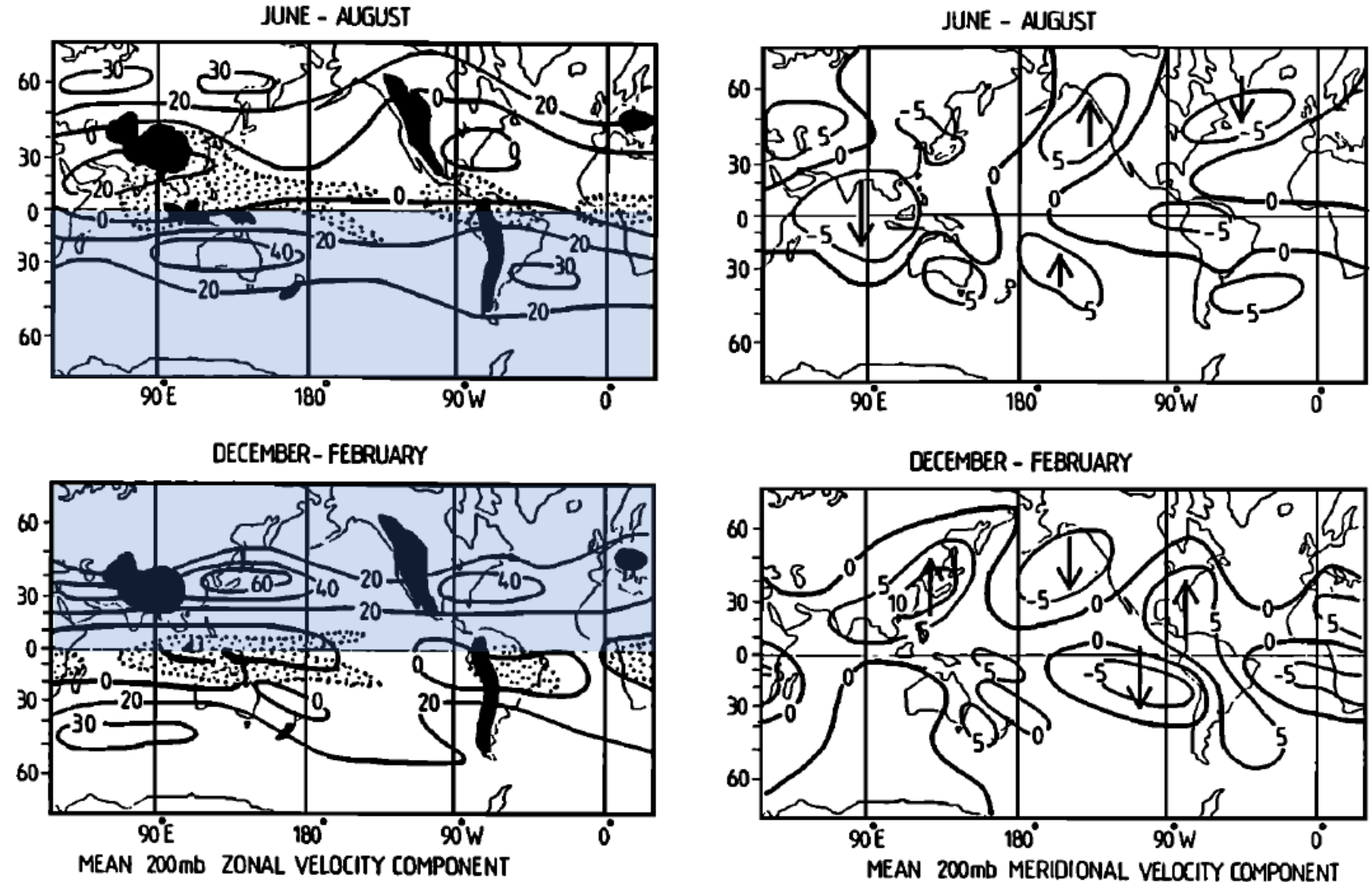


Fig. 1. Global distributions of the 200-mbar time-mean zonal velocity component (\bar{u} , m s⁻¹, left panels) and meridional components (\bar{v} , m s⁻¹, right panels) for the boreal summer (upper panels) and boreal winter (lower panels). The stippled regions indicate cold outgoing long-wave radiation (i.e., convection), and the solid areas show the major orographic features [after Webster, 1983].

2. Mecanismo de determinação do estado tridimensional do tempo-médio da atmosfera

Inverno austral:

- Jatos máximos também estão sobre o equador e abaixo da convecção máxima de baixa latitude. Inclusive, o jato mais forte encontra-se abaixo do aquecimento máximo do sul asiático. E não há feições orográficas.

Inverno boreal:

- Jatos máximos estão localizados a jusante das maiores feições orográficas.
- Conclusão: variação longitudinal do fluxo médio é uma função das funções orográficas.

Conexão física entre os trópicos e extra-trópicos:

- No sentido equatorial de cada fluxo de jato do hemisfério de inverno, há um forte fluxo equatorial cruzado, originário da região de aquecimento de baixa latitude no verão e estendendo-se para a região a montante do jato de inverno.

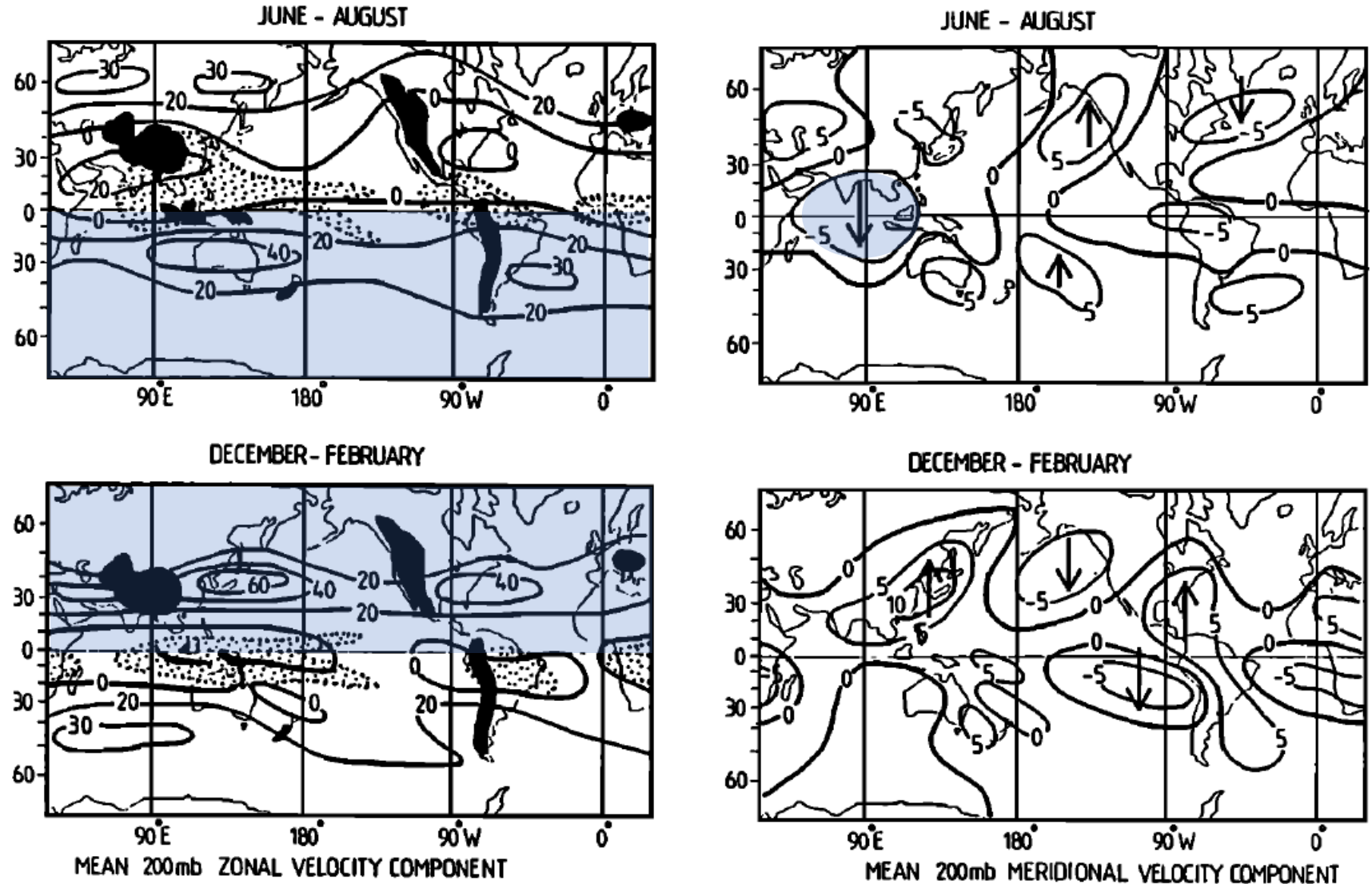


Fig. 1. Global distributions of the 200-mbar time-mean zonal velocity component (\bar{u} , m s⁻¹, left panels) and meridional components (\bar{v} , m s⁻¹, right panels) for the boreal summer (upper panels) and boreal winter (lower panels). The stippled regions indicate cold outgoing long-wave radiation (i.e., convection), and the solid areas show the major orographic features [after Webster, 1983].

2. Mecanismo de determinação do estado tridimensional do tempo-médio da atmosfera

O fluxo base das regiões equatoriais parece ser fortemente correlacionada com a distribuição do aquecimento e, por consequência, da distribuição da temperatura superficial do oceano.

- Há pouca variação sazonal na componente zonal (u) da distribuição vertical.

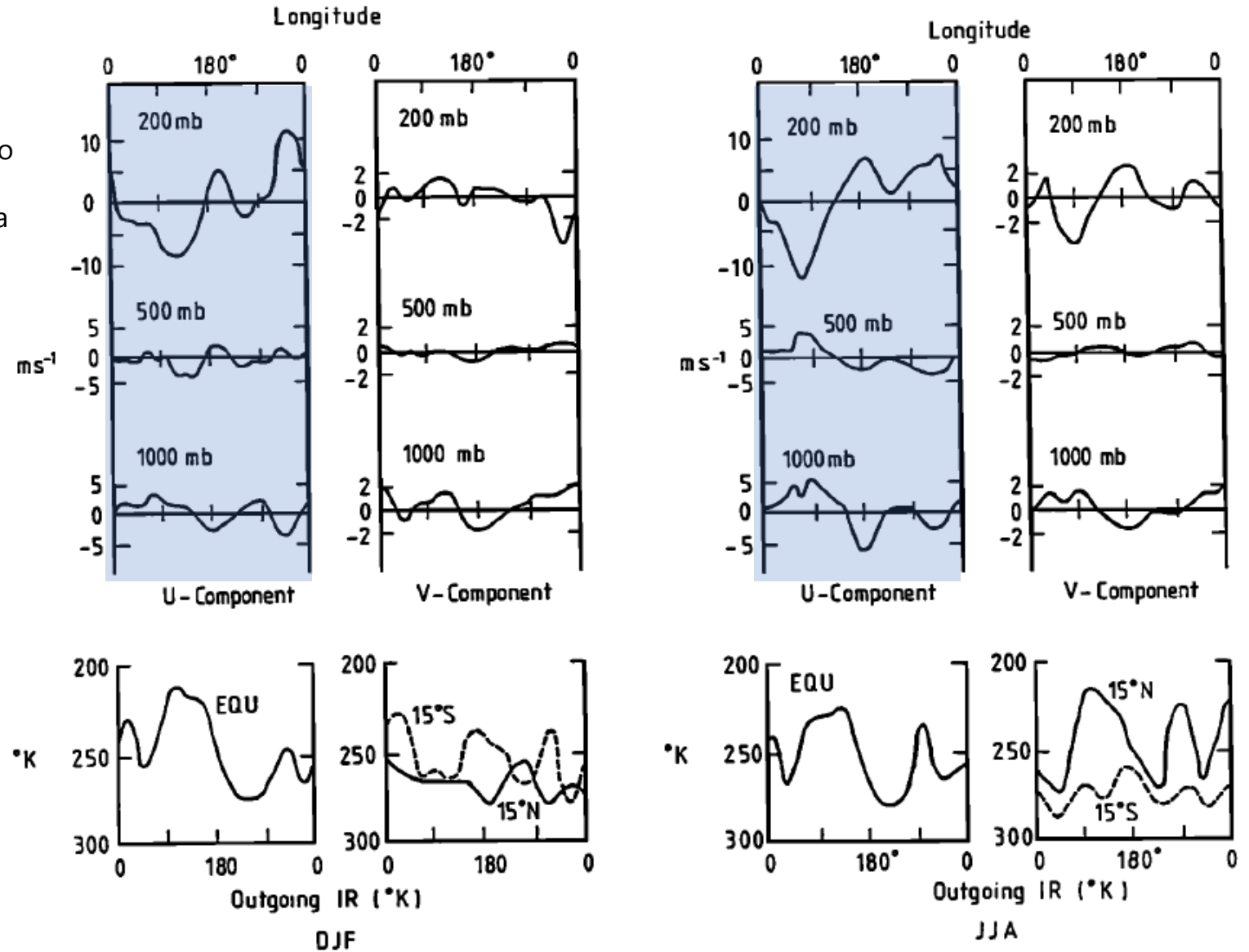


Fig. 2. Height-longitude sections along the equator of the spatial deviations from the zonal average of the time mean flow at 1000, 500, and 200 mbar. The lower panels show the infrared effective temperatures (degrees Kelvin on an inverted scale) along the equator, 15°N, and 15°S [after Arkin and Webster, 1985].

2. Mecanismo de determinação do estado tridimensional do tempo-médio da atmosfera

O fluxo base das regiões equatoriais parece ser fortemente correlacionada com a distribuição do aquecimento e, por consequência, da distribuição da temperatura superficial do oceano.

- Há pouca variação sazonal na componente zonal (u) da distribuição vertical.
- Anticorrelação entre a superfície e a alta troposfera.

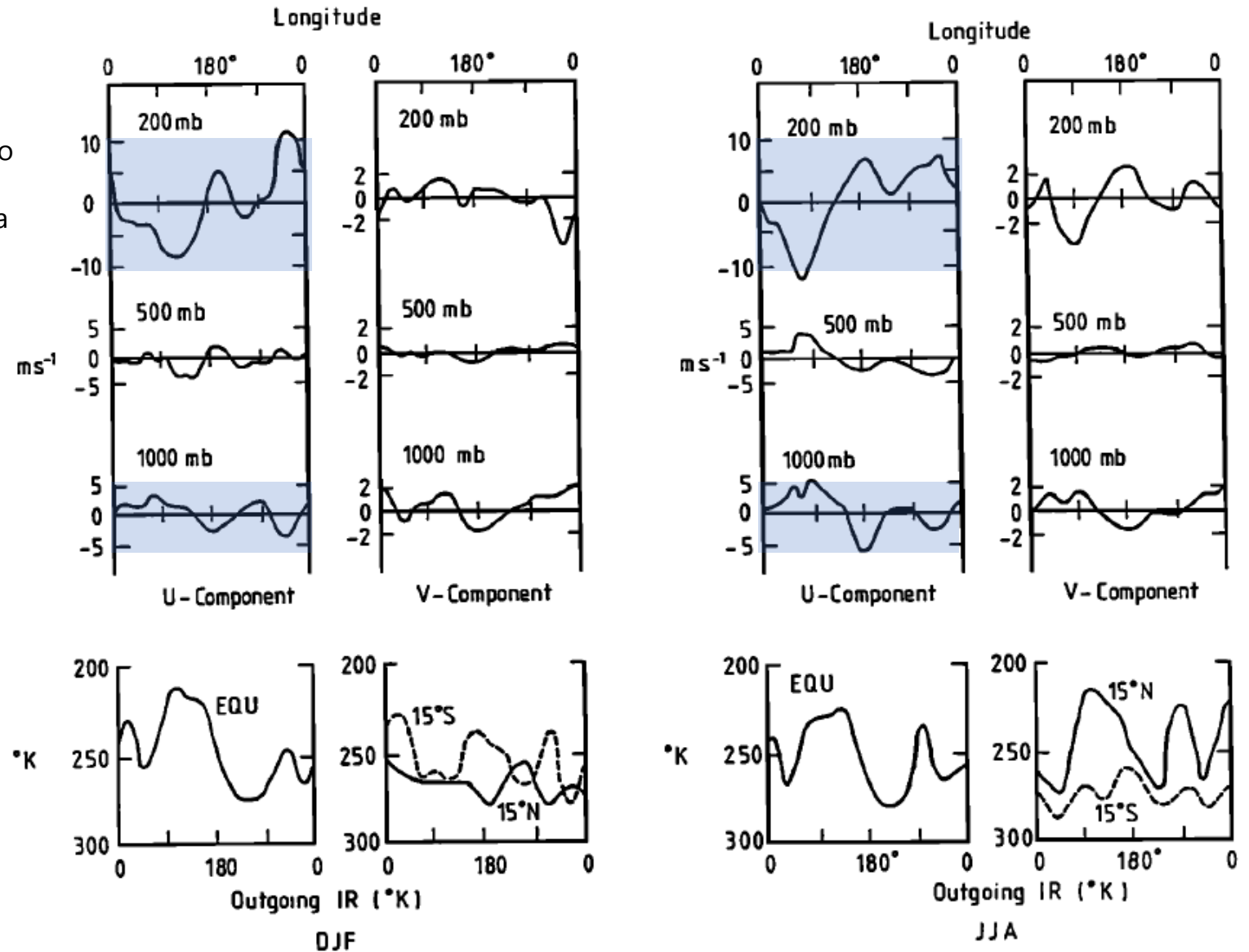


Fig. 2. Height-longitude sections along the equator of the spatial deviations from the zonal average of the time mean flow at 1000, 500, and 200 mbar. The lower panels show the infrared effective temperatures (degrees Kelvin on an inverted scale) along the equator, 15°N, and 15°S [after Arkin and Webster, 1985].

2. Mecanismo de determinação do estado tridimensional do tempo-médio da atmosfera

O fluxo base das regiões equatoriais parece ser fortemente correlacionada com a distribuição do aquecimento e, por consequência, da distribuição da temperatura superficial do oceano.

- Há pouca variação sazonal na componente zonal (u) da distribuição vertical.
- Anticorrelação entre a superfície e a alta troposfera.
- A variação meridional mostra uma inversão entre as estações.

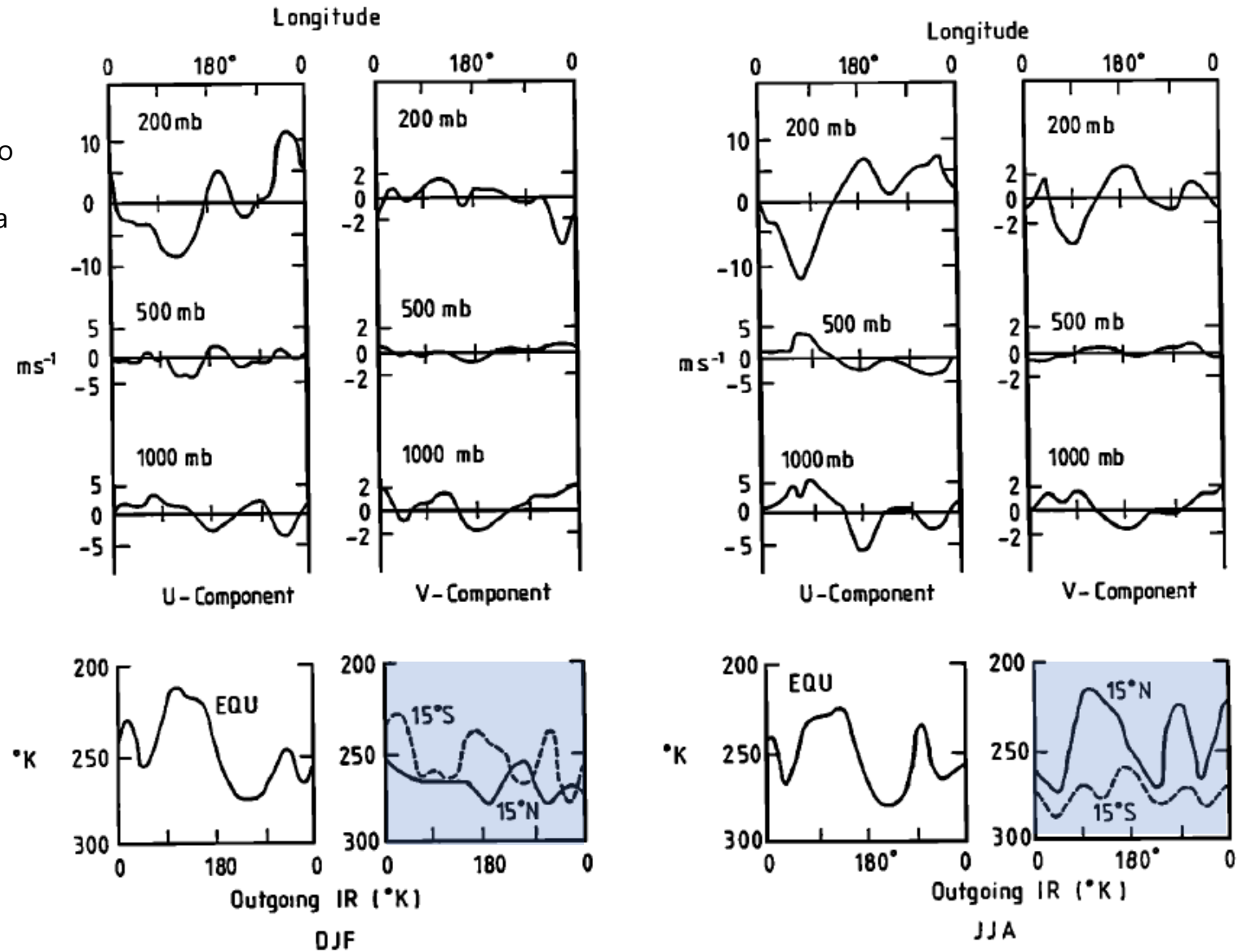


Fig. 2. Height-longitude sections along the equator of the spatial deviations from the zonal average of the time mean flow at 1000, 500, and 200 mbar. The lower panels show the infrared effective temperatures (degrees Kelvin on an inverted scale) along the equator, 15°N, and 15°S [after Arkin and Webster, 1985].

2. Mecanismo de determinação do estado tridimensional do tempo-médio da atmosfera

O fluxo base das regiões equatoriais parece ser fortemente correlacionada com a distribuição do aquecimento e, por consequência, da distribuição da temperatura superficial do oceano.

- Há pouca variação sazonal na componente zonal (u) da distribuição vertical.
- Anticorrelação entre a superfície e a alta troposfera.
- A variação meridional mostra uma inversão entre as estações.
- Correlação com a temperatura IR do verão dos subtropicais. Ou seja, o fluxo cruzado equatorial parece ser impulsionado pelo aquecimento subtropical de monções do hemisfério de verão.

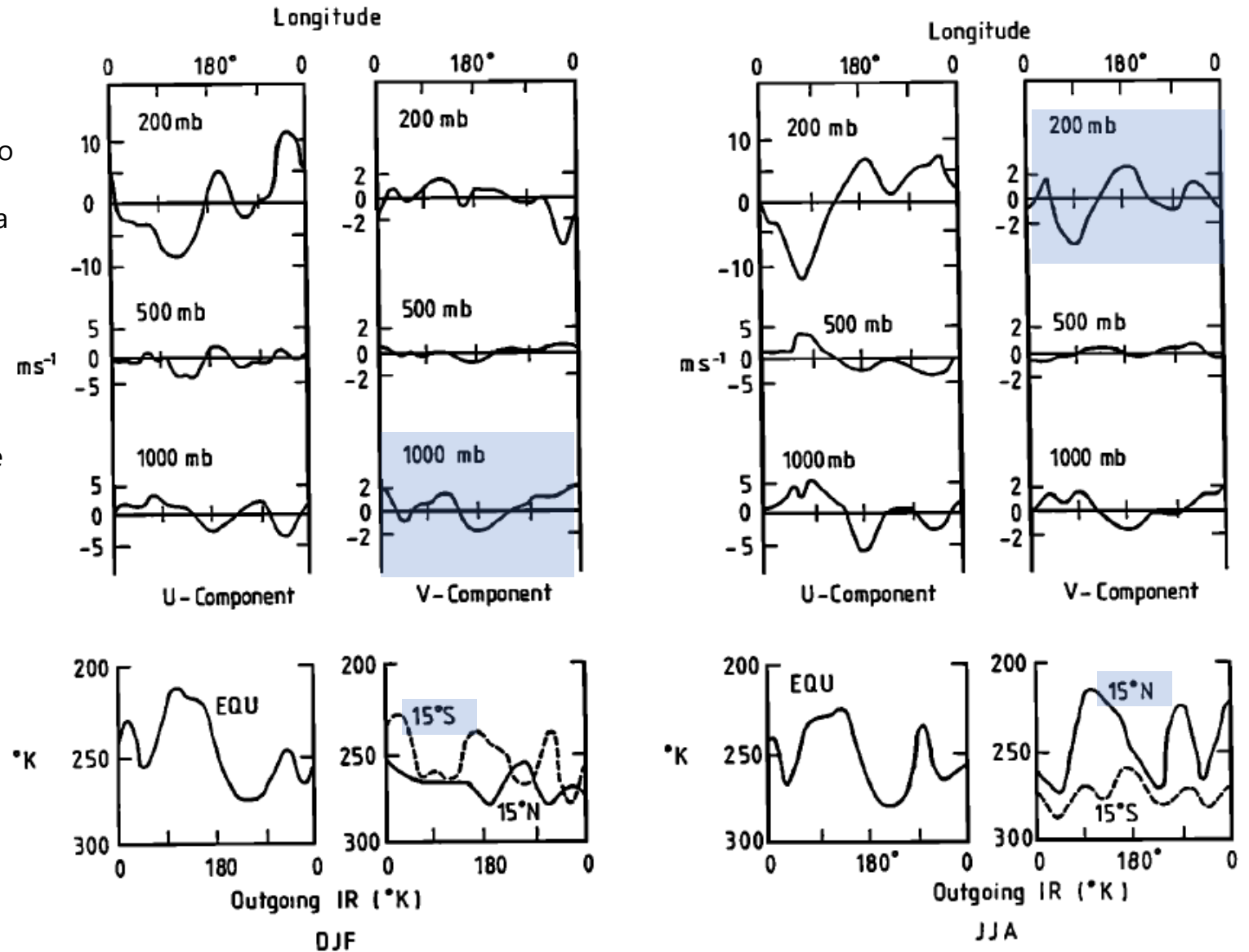


Fig. 2. Height-longitude sections along the equator of the spatial deviations from the zonal average of the time mean flow at 1000, 500, and 200 mbar. The lower panels show the infrared effective temperatures (degrees Kelvin on an inverted scale) along the equator, 15°N, and 15°S [after Arkin and Webster, 1985].

2. Mecanismo de determinação do estado tridimensional do tempo-médio da atmosfera

O fluxo base das regiões equatoriais parece ser fortemente correlacionada com a distribuição do aquecimento e, por consequência, da distribuição da temperatura superficial do oceano.

- Há pouca variação sazonal na componente zonal (u) da distribuição vertical.
- Anticorrelação entre a superfície e a alta troposfera.
- A variação meridional mostra uma inversão entre as estações.
- Correlação com a temperatura IR do verão dos subtropicais. Ou seja, o fluxo cruzado equatorial parece ser impulsionado pelo aquecimento subtropical de monções do hemisfério de verão.
- É importante notar que o estado básico também possui considerável variabilidade interanual, especialmente em relação ao sinal do El Niño- Oscilação Sul.
- Com a alteração da localização das águas aquecidas, as regiões ascendentes e convectivas movem da Indonésia para o centro do Pacífico.
- Esse deslizamento para leste muda toda a circulação tropical.

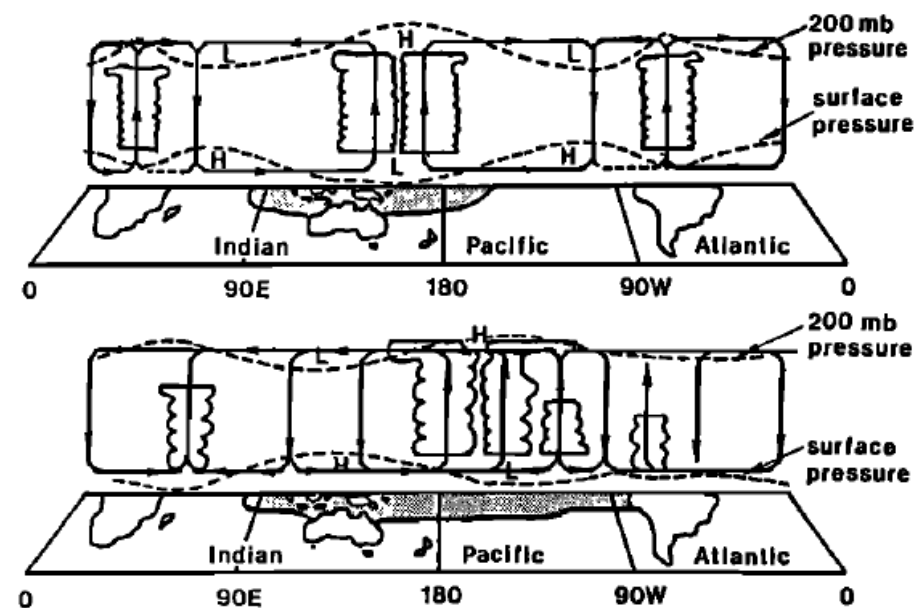


Fig. 3. Schematic diagram of the longitude-height-circulation along the equator typical of a strong positive (upper panel) and strong negative Southern Oscillation Index (lower panel). The surface and 200-mbar pressure derivatives are shown as dashed lines. Clouds indicate region of convection, and sea surface temperature warmer than 27°C is stippled [from Webster, 1987].

2. Mecanismo de determinação do estado tridimensional do tempo-médio da atmosfera

O fluxo base das regiões equatoriais parece ser fortemente correlacionada com a distribuição do aquecimento e, por consequência, da distribuição da temperatura superficial do oceano.

- Há pouca variação sazonal na componente zonal (u) da distribuição vertical.
- Anticorrelação entre a superfície e a alta troposfera.
- A variação meridional mostra uma inversão entre as estações.
- Correlação com a temperatura IR do verão dos subtropicais. Ou seja, o fluxo cruzado equatorial parece ser impulsionado pelo aquecimento subtropical de monções do hemisfério de verão.
- É importante notar que o estado básico também possui considerável variabilidade interanual, especialmente em relação ao sinal do El Niño- Oscilação Sul.
- Com a alteração da localização das águas aquecidas, as regiões ascendentes e convectivas movem da Indonésia para o centro do Pacífico.
- Esse deslizamento para leste muda toda a circulação tropical.
- Visão global da distribuição da variabilidade atmosférica do inverno boreal para os anos de 1971-72 sem influência do El Niño e 1972-73 com a influência.

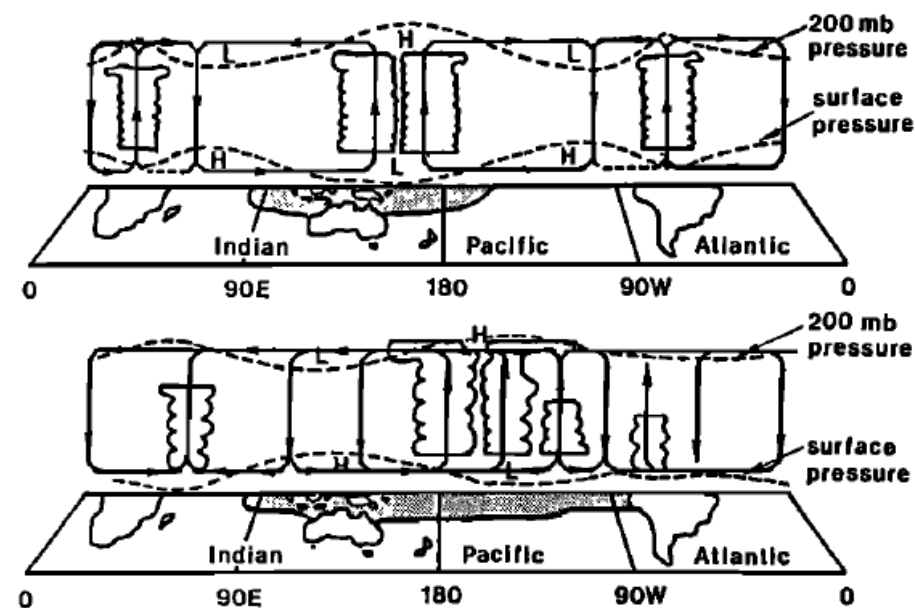


Fig. 3. Schematic diagram of the longitude-height-circulation along the equator typical of a strong positive (upper panel) and strong negative Southern Oscillation Index (lower panel). The surface and 200-mbar pressure derivatives are shown as dashed lines. Clouds indicate region of convection, and sea surface temperature warmer than 27°C is stippled [from Webster, 1987].

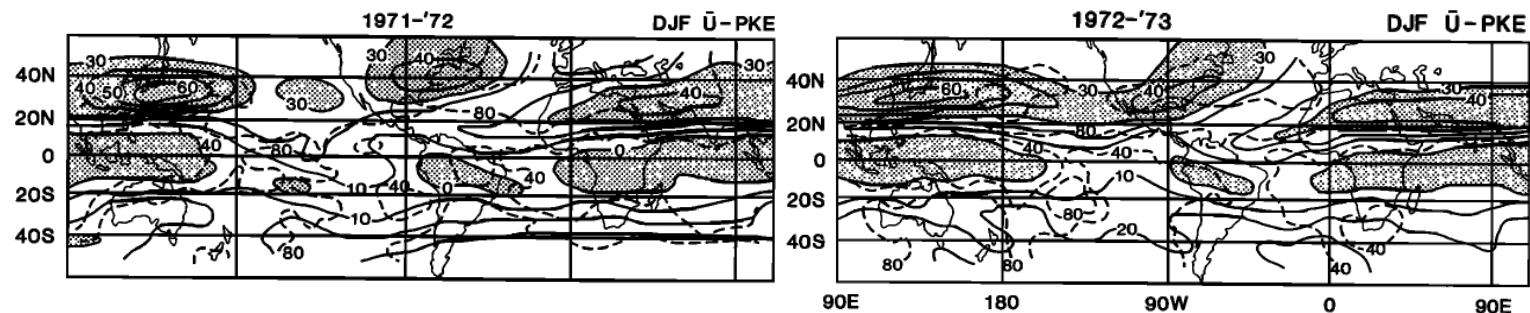


Fig. 5b. Comparison of the \bar{u} and perturbation kinetic energy (PKE) distributions for the 1971/1972 and 1972/1973 December-January-February (DJF) periods. The second period coincides with an equatorial warm event [after Arkin and Webster, 1985]. Regions where $\bar{u} > 30 \text{ m s}^{-1}$ in mid-latitudes and $\bar{u} < 0$ in equatorial regions are shaded.

3. Observações da variabilidade de baixa-frequência

Os dados de circulação atmosférica do hemisfério norte apresentam séries longas e com continuidade espacial que possibilitam as análises detalhadas da estrutura tridimensional da atmosfera.

Com a cobertura quase completa e contínua dos satélites, o hemisfério sul também apresenta série de dados longas e contínuas.

- Os estudos observacionais dedicados às médias zonais mudaram o foco para a estrutura tridimensional da atmosfera e suas flutuações.
- As análises, que também era na perspectiva de estudos de caso, agora passa a ser análises em quatro dimensões.

O uso de técnicas de filtro forneceu evidências de grandes diferenças no caráter das variações atmosféricas de alta e baixa frequência. Suas escalas espaciais não são apenas bastante diferentes, mas também têm relações distintas com relação ao estado básico de fundo no qual estão imersas.

Os estudos de instabilidade tridimensional discutidos nas seções posteriores produzem modos semelhantes às observações filtradas passa-banda e passa-baixo, mas sugerem que existem muitos outros modos de flutuação que podem ser perdidos usando o filtro passa-baixo bastante amplo.

3. Observações da variabilidade de baixa-frequência

Resumo das relações entre a média dos fluxo zonal e a energia cinética da perturbação (PKE) em diagramas de dispersão.

- Correlação entre as regiões equatoriais são fortes e positivas, ilustrando a relação entre a força dos ventos de oeste em baixas latitudes e o grau de perturbação.

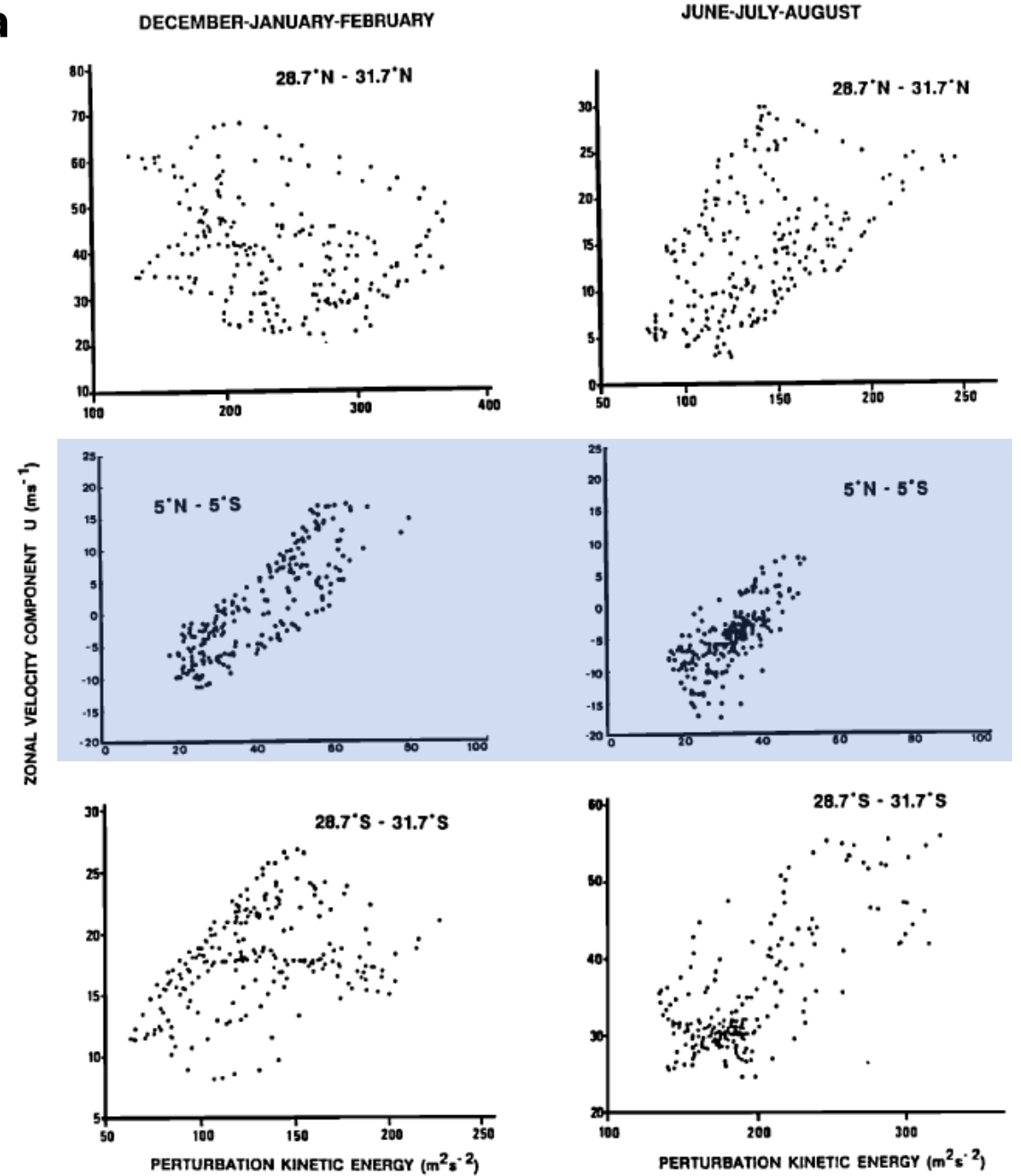


Fig. 6. Scatter diagrams of point pairs for the long-time mean of the two seasons DJF and JJA in the strips 5°N to 5°S and 28.7°-31.7° (N and S). (We are thankful to P. Arkin (unpublished data, 1986) of the Climate Analysis Center, NMC/NOAA, for the compilation of the scatter diagrams for the northern and southern hemisphere extratropics.)

3. Observações da variabilidade de baixa-frequência

Resumo das relações entre a média dos fluxo zonal e a energia cinética da perturbação (PKE) em diagramas de dispersão.

- Correlação entre as regiões equatoriais são fortes e positivas, ilustrando a relação entre a força dos ventos de oeste em baixas latitudes e o grau de perturbação.
- Para as regiões extratropicais, a relação u-PKE mostra o mesmo padrão geral que o dos trópicos.

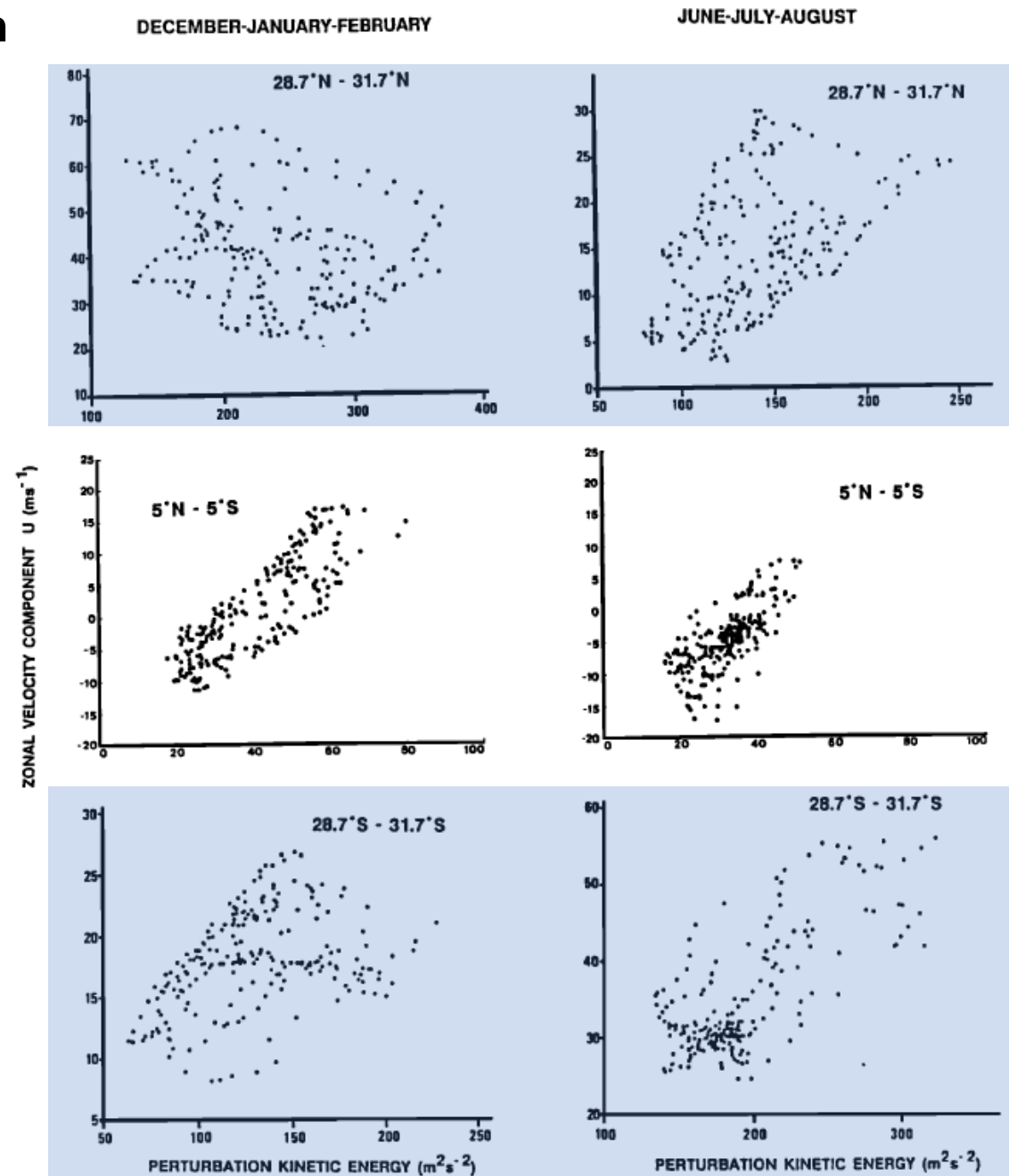


Fig. 6. Scatter diagrams of point pairs for the long-time mean of the two seasons DJF and JJA in the strips 5°N to 5°S and 28.7°–31.7° (N and S). (We are thankful to P. Arkin (unpublished data, 1986) of the Climate Analysis Center, NMC/NOAA, for the compilation of the scatter diagrams for the northern and southern hemisphere extratropics.)

3. Observações da variabilidade de baixa-frequência

Resumo das relações entre a média dos fluxo zonal e a energia cinética da perturbação (PKE) em diagramas de dispersão.

- Correlação entre as regiões equatoriais são fortes e positivas, ilustrando a relação entre a força dos ventos de oeste em baixas latitudes e o grau de perturbação.
- Para as regiões extratropicais, a relação u-PKE mostra o mesmo padrão geral que o dos trópicos.
- Porém, no inverno do HN, em particular os altos valores da componente da velocidade zonal não coincide com os valores máximos das PKE. Os valores são espalhados em um espectro amplo.

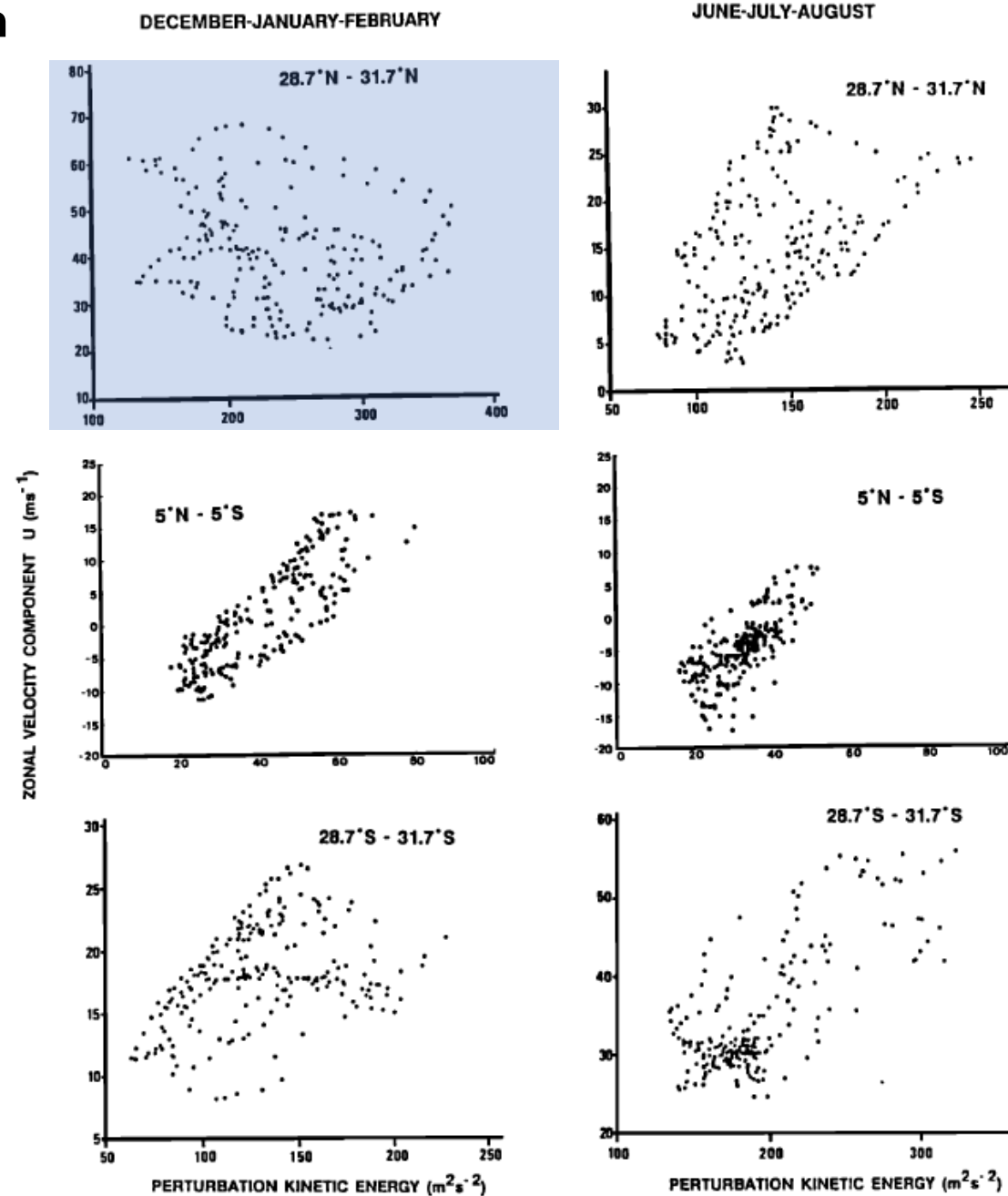


Fig. 6. Scatter diagrams of point pairs for the long-time mean of the two seasons DJF and JJA in the strips 5°N to 5°S and 28.7°–31.7° (N and S). (We are thankful to P. Arkin (unpublished data, 1986) of the Climate Analysis Center, NMC/NOAA, for the compilation of the scatter diagrams for the northern and southern hemisphere extratropics.)

3. Observações da variabilidade de baixa-frequência

Resumo das relações entre a média dos fluxo zonal e a energia cinética da perturbação (PKE) em diagramas de dispersão.

- Correlação entre as regiões equatoriais são fortes e positivas, ilustrando a relação entre a força dos ventos de oeste em baixas latitudes e o grau de perturbação.
- Para as regiões extratropicais, a relação u-PKE mostra o mesmo padrão geral que o dos trópicos.
- Porém, no inverno do HN, em particular os altos valores da componente da velocidade zonal não coincide com os valores máximos das PKE. Os valores são espalhados em um espectro amplo.
- O inverno do HS (e os verões de ambos hemisférios), exibem uma estrutura similar aos trópicos. A razão dessa diferença entre as estações e hemisférios não é bem definida, porém pode ser atribuída:
 - campos de deformação característica de cada hemisfério;
 - falta de qualidade dos dados do HS;
 - fluxos de larga escala gerados remotamente apresentando uma estrutura barotrópica.

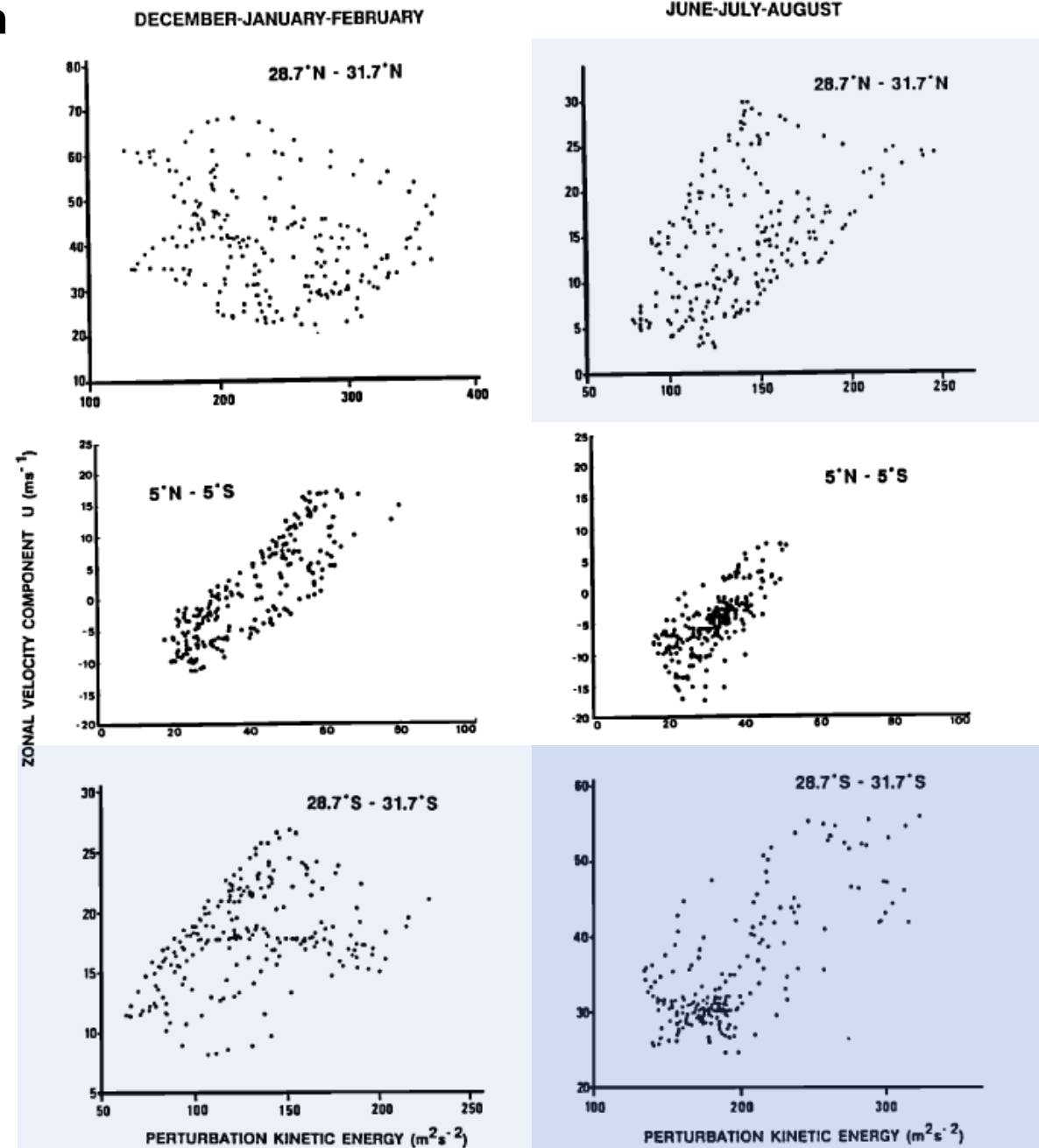


Fig. 6. Scatter diagrams of point pairs for the long-time mean of the two seasons DJF and JJA in the strips 5°N to 5°S and 28.7°–31.7° (N and S). (We are thankful to P. Arkin (unpublished data, 1986) of the Climate Analysis Center, NMC/NOAA, for the compilation of the scatter diagrams for the northern and southern hemisphere extratropics.)

3. Observações da variabilidade de baixa-frequência

- Variabilidade de baixa frequência:
 - Teleconexões atmosféricas:
 - "trópicos para extra-trópicos":

O estado médio da atmosfera é diferente durante os episódios quentes de El Niño. De uma forma ou de outra, a estrutura anômala dos extra-trópicos durante os episódios pode ser explicada em termos do deslocamento das forçantes térmicas nos trópicos ou explicada em termos de uma agregação de flutuações de baixa frequência em resposta a uma excitação do trópico perturbado, ou, a combinação de ambos efeitos.
 - "extra-trópicos para trópicos"

Entrada de distúrbios do tipo extra-tropical nos trópicos, na região dos ventos de oeste tropical.
 - "trópicos para trópicos":

Mecanismo de interconexão equatorial causada tanto pela variação temporal da onda de Kelvin ou transientes que movem através do estado básico.



Fig. 7. Composite of the atmospheric anomaly pattern in the upper troposphere during warm events (large negative Southern Oscillation Index in Figure 4) in the Pacific Ocean [from Horel and Wallace, 1981].

4. Teorias da variabilidade de baixa-frequência

Juntamente com os avanços das análises observacionais, surgiram os experimentos numéricos e teorias.

O objetivo é explicar a estrutura temporal e espacial das flutuações atmosféricas.

Hipóteses postas para explicar as estruturas observadas das sub-classes da variância de baixa-frequência da atmosfera:

- Variabilidade de alta-frequência:

Há pouca controvérsia com relação aos mecanismos básicos de operação da produção de flutuação em menores escalas de tempo. As investigações ocorreram de duas formas:

- Examinando a estabilidade dos fluxos que não apresentavam variação zonal no seu estado básico ou na amplitude dos distúrbios em crescimento.
- Explicação pela teoria de instabilidade tridimensional.

- Variabilidade de baixa-frequência:

Os estudos de bloqueios e o comportamento de baixa-frequência da atmosfera em geral é muito mais diverso.

1. Teoria de dispersão de ondas bidimensionais de Rossby.
2. Interação não-linear de uma onda forçada e de onda livre.
3. Amplificação ressonante hemisférica de ondas planetárias em larga escala forçadas por topografia e aquecimento.
4. Resposta local devido às ondas de Rossby geradas por uma região forçante sendo aprimorada por uma segunda fonte a jusante.
5. Instabilidade tridimensional do fluxo básico variável tridimensional.
6. Instabilidade barotrópica do fluxo zonalmente variável.
7. Equilíbrios múltiplos do fluxo atmosférico.
8. Onda solitária de Rossby

Explicam o início e desenvolvimento dos eventos de bloqueio.

Manutenção dos eventos de bloqueio.

Há pouca discussão das teorias de decaimento do bloqueio na literatura.

5. Dispersão das ondas Rossby e teorias de respostas ao estado estacionário

1. Estados básicos zonais:

a) Teleconexões tropical para extratropical.

A variedade de técnicas usadas para examinar os fenômenos de baixa-frequência podem ser vistos pela revisão dos estudos de teleconexões atmosféricas. E, diversos estudos assumem solução linear em estado estacionário.

Outros estudos que usam complexos modelos de circulação geral da atmosfera não consideram pressuposições a priori com relação a dinâmica dominante das forçantes remotas às respostas atmosféricas. E que os resultados só podem ser decifrados desde que sejam guiados por hipóteses anteriores resultantes de análises de dados reais ou de modelo fenomenológico.

Experimentos em ambos modelos produzem resultados que são surpreendentemente similares

Existem diversos aspectos para a hipótese desse trem de ondas simplificado:

- A teoria prediz corretamente que o hemisfério no inverno é mais facilmente perturbado pelas anomalias de aquecimento do equador.
- As respostas anômalas apresentam uma dependência espectral com a latitude. Ondas longas se propagam mais em direção aos polos enquanto as ondas mais curtas apresentam latitude de desvio mais direcionadas ao equador (Hoskings & Karoly, 1981).
- A dispersão do trem de ondas em direção aos extra-tropicais apresenta uma estrutura barotrópica (Hoskings & Karoly, 1981)..

Uma fonte anômala emanando de baixas latitudes que pode ser tanto de uma fonte de aquecimento na superfície do oceano ou uma fonte de aquecimento latente no meio da troposfera, é um trem de ondas propagando predominantemente em direção ao hemisfério durante o inverno em altas latitudes – Ondas de dispersão Rossby. A forçante preferencial do hemisfério no inverno ocorre simplesmente pelos ventos de oeste que invadem em proximidade ao equador e facilitam e excitação das ondas de Rossby.

Problemas que existem com essa teoria:

- Dependendo do estado estacionário assumido, não se considera a possibilidade da instabilidade inerente da atmosfera em seu estado tridimensional.
- A teoria ignora a variabilidade longitudinal do estado estacionário apesar delas existir tanto no estado estacionário quanto na variância de baixa frequência.
- Seguindo essa linha, a teoria indica que o trem de ondas migra seguindo a fonte de calor conforme ela muda em direção leste durante os episódios de aquecimento equatorial, situação que parece contrária às evidências de observações e modelagem.
- As repostas em estudos de circulação geral não lineares é muito mais complexa.

5. Dispersão das ondas Rossby e teorias de respostas ao estado estacionário

1. Estados básicos zonais: (Charney, 1963 & 1969)

b) Teleconexão extratropical para tropical.

Considerando a variação longitudinal em termos de tempo médio e estrutura transiente relativa ao estado básico em um modelo barotrópico não linear foi testada a hipótese de que os ventos de oeste equatorial da alta troposfera equatorial eram formadas pela propagação de ondas dos extra trópicos.

Durante o outono e o inverno boreal, quando os ventos de oeste equatorial são mais fortes, os transientes de um hemisfério pode propagar até o equador ou até mesmo ao outro hemisfério.

- Ondas menores o sinal do vento equatorial no ponto de intercepção determina se propaga através da região equatorial, absorvida ou refletida.
- Para ondas muito maiores à escala dos ventos de oeste, a onda pode interagir com o estado básico dependendo da fase da onda extratropical. A região do vento de oeste pode ser ampliada ou removida.

2. Dispersão de ondas em um fluxo de variação longitudinal do estado estacionário:

- Os distúrbios tropicais são invariavelmente convectivos e confinados às regiões oceânicas de temperaturas quentes. Eles apresentam uma estrutura divergente que ocupa toda a troposfera, e também, são aprisionadas equatorialmente com uma amplitude que diminui exponencialmente com a distância do equador.
- Os sistemas convectivos dos trópicos agregam aquecimento localmente que produzem efeitos locais que forcem circulações diretamente relacionadas ao extra trópicos.
- Porém, é concebível que há outros efeitos com variações longitudinais no estado básico equatorial que podem criar influencias em regiões não convectivas e remotas dos trópicos e até mesmo extratropicais.

3. Mecanismos do duto de oeste – *Westerly duct mechanism*

- O problema da teoria de trens de onda para teleconexões atmosféricas e o entendimento da importância do papel do cisalhamento longitudinal, juntamente com a identificação da região de saturação e emanação de ondas, permitem colocar o novo mecanismo de comunicação entre os trópicos e os extratropicos.

Apesar de ser um mecanismo atraente, ainda não considera a instabilidade extratropical do estado básico.

Que foram até então baseadas em estados básicos zonais e ignoravam a variação longitudinal considerável tanto em tempo quanto nas estruturas transientes.

O mecanismo indica que o desenvolvimento dos transientes nas regiões de temperaturas quentes do oceano nos trópicos, e que na ocorrência de regiões de saturação, define-se a onda de propagação e emanação em direção aos extra trópicos.