



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS



Geotecnologias em
Desastres Naturais e
Eventos Extremos
INPE - CRS

Adversidades Climáticas Geradoras de Eventos de Inundação

Camila Cossetin Ferreira
camila.ferreira@crs.inpe.br

Ministério da
Ciência e Tecnologia





Introdução

- Circulação Geral da Atmosfera
- Massas de Ar que Afetam a América do Sul
- Sistemas Meteorológicos que Causam Precipitação:
 - Sistemas Frontais
 - Sistemas Convectivos de Mesoescala
 - Zona de Convergência do Atlântico Sul
 - Zona de Convergência Intertropical
- Distribuição da Precipitação na AS
- Influência do ENOS na Precipitação

Classificação da circulação atmosférica:

- **Circulação primária:** circulação global
- **Circulação secundária:** sistemas migratórios de alta e baixa pressão
- **Circulação terciária:** sistemas locais



Circulação Global Idealizada

- Movimento da atmosfera \Rightarrow distribuição de pressão atmosférica
- Distribuição de pressão atmosférica \Rightarrow balanço de energia

- A energia que entra na Terra é proveniente do sol, na forma de radiação.
- A radiação recebida nas regiões tropicais é maior que a recebida nas regiões polares.
- Este desequilíbrio de calor latitudinal causa diferenças de pressão e é o que dirige a circulação da atmosfera e dos oceanos.

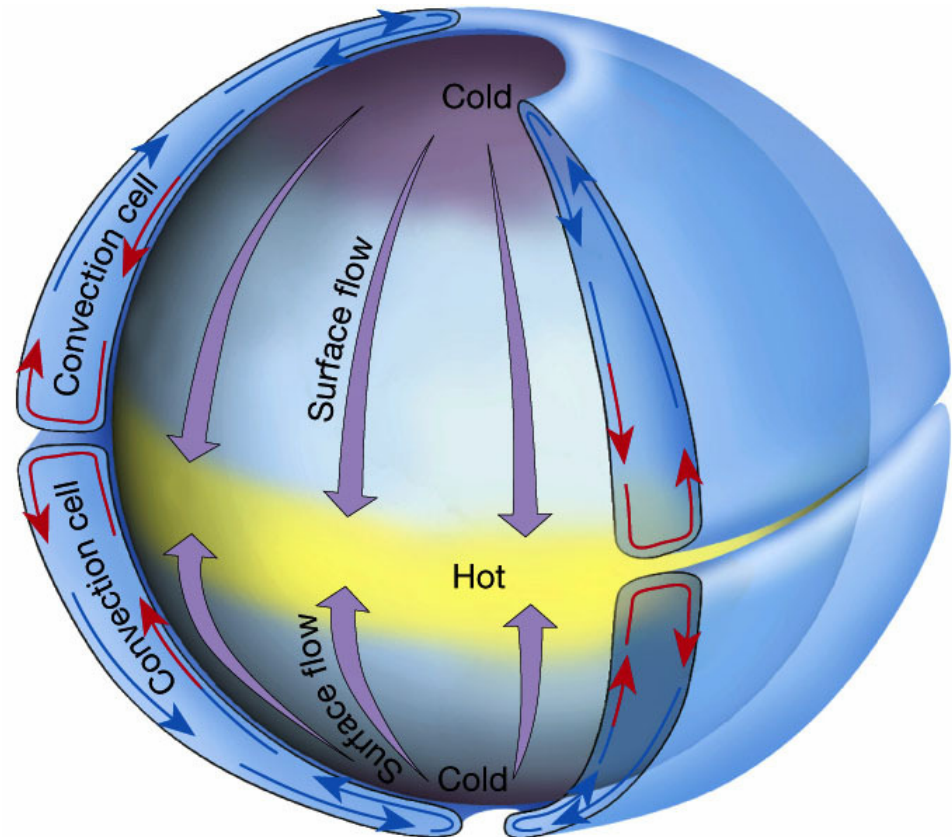
- Se não existissem trocas de calor entre a região tropical e a polar, os trópicos ficariam cada vez mais quentes e os pólos cada vez mais frios.
- 60% do calor é redistribuído pela **circulação atmosférica** (calor sensível e calor latente) e 40% pelas **correntes oceânicas**.



Circulação Global Idealizada

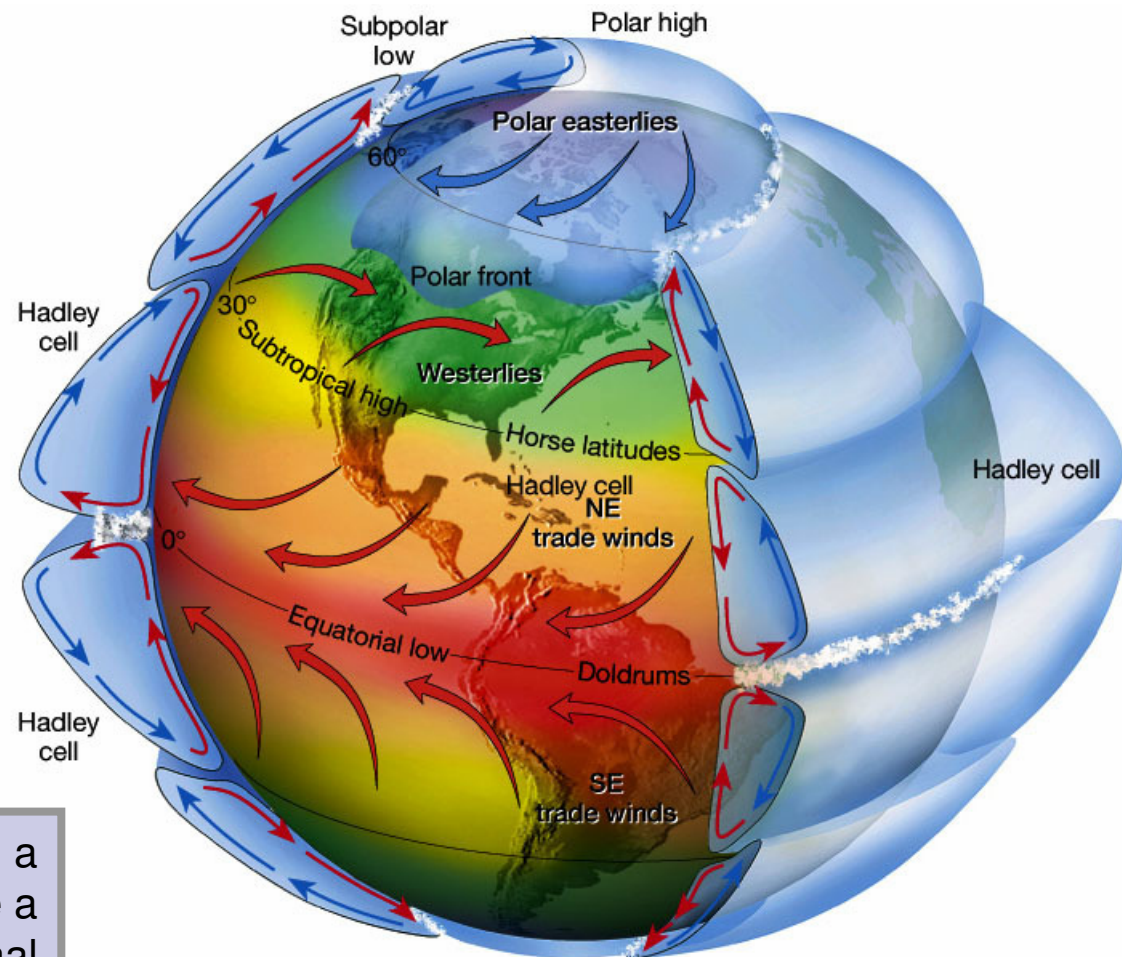
George Hadley, 1735: circulação gerada pelo aquecimento desigual da Terra

- sem rotação
- sem obliquidade eclíptica
- com superfície uniforme



Circulação Global Idealizada

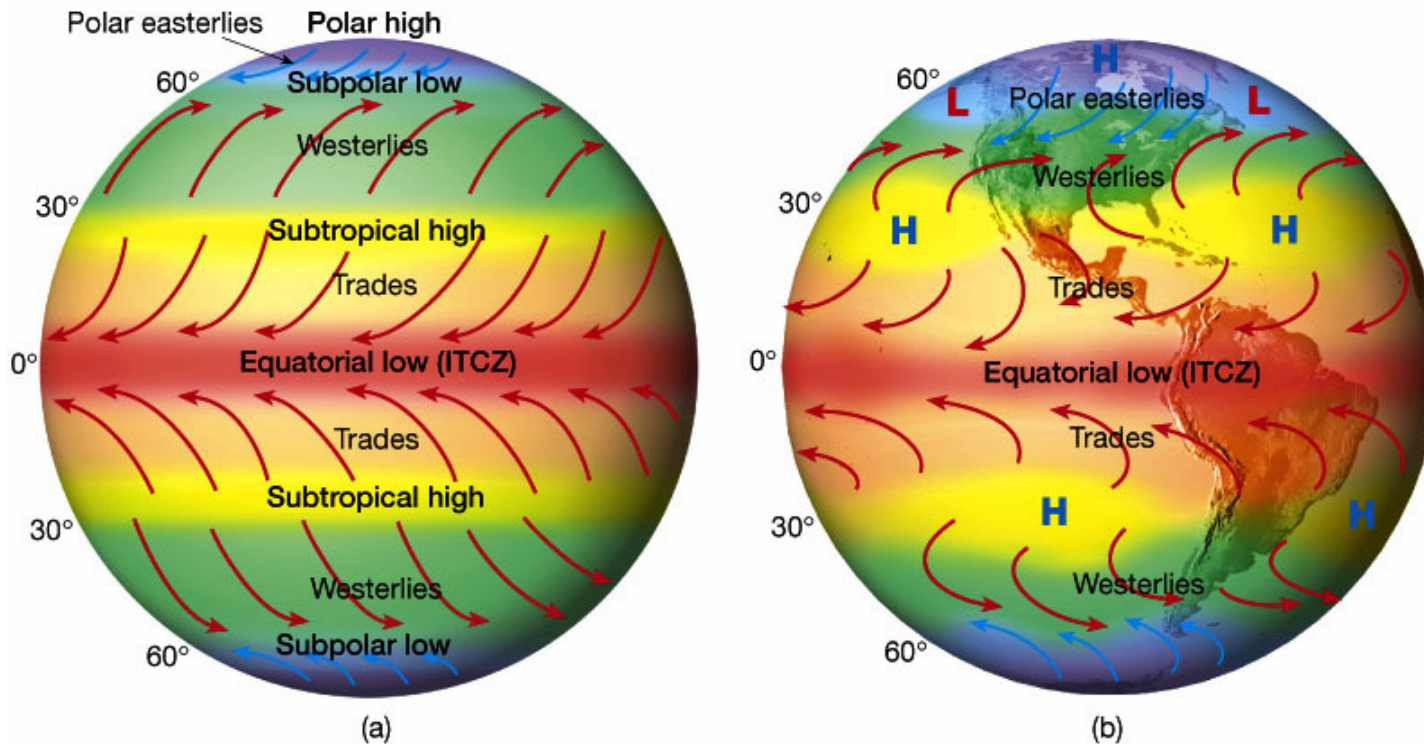
- efeito de rotação da terra \Rightarrow força de Coriolis
- sem obliquidade eclíptica
- com superfície uniforme



Note que neste modelo os ventos tem a componente zonal maior que a componente meridional

Circulação Global Idealizada

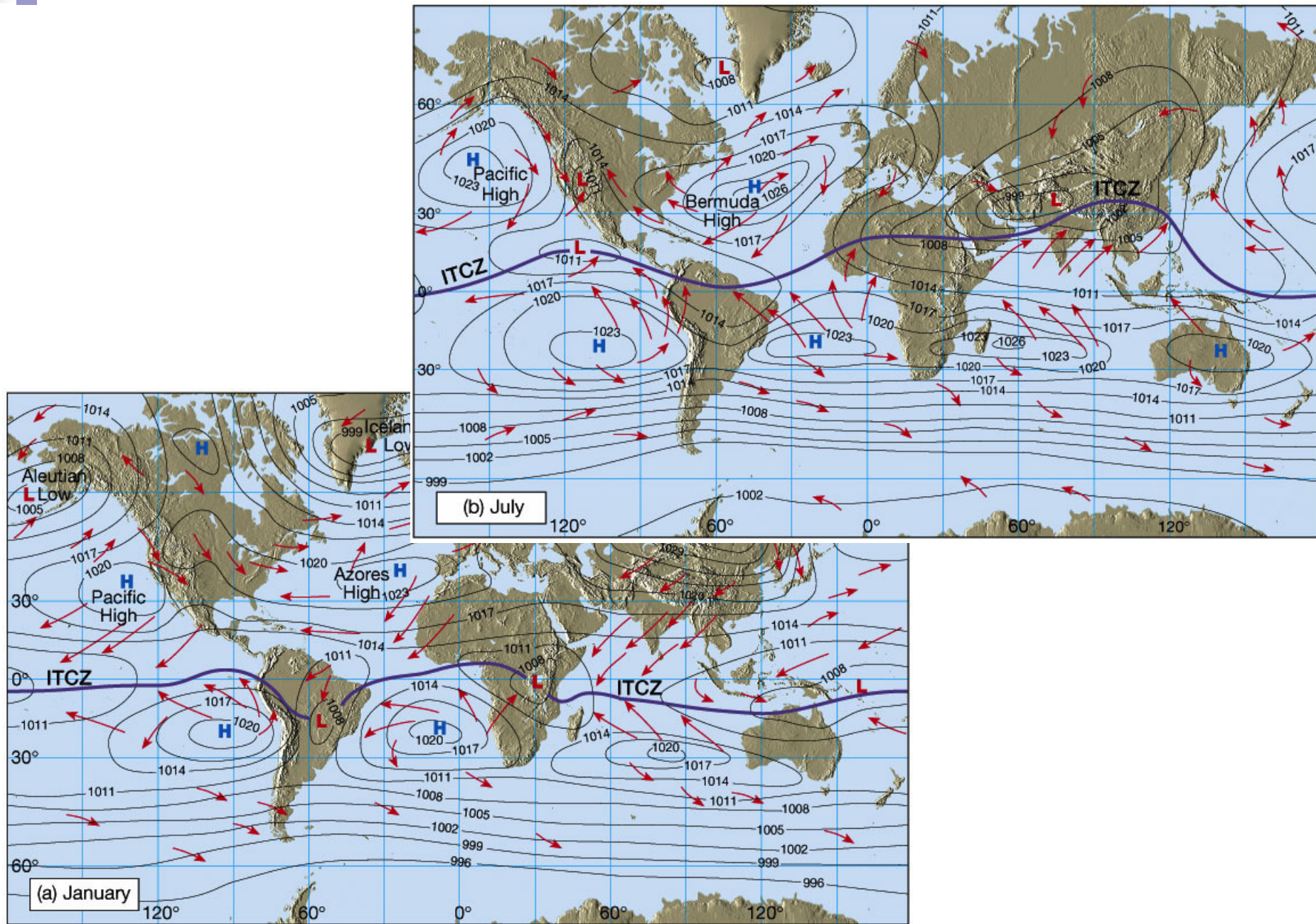
- (a) Ventos idealizados gerados pelo gradiente de pressão e força de Coriolis.
(b) Padrão de ventos atual considerando a distribuição continental.



Existem três razões principais para isto:

- A superfície da Terra não é uniforme, há aquecimento desigual devido aos contrastes terra/água.
- Os fluxos de vento podem tornar-se instáveis e gerar *eddies*.
- O sol não fica sobre o Equador, mas se move de 23,5°N para 23,5°S, ao longo do ano.

Circulação Global Idealizada





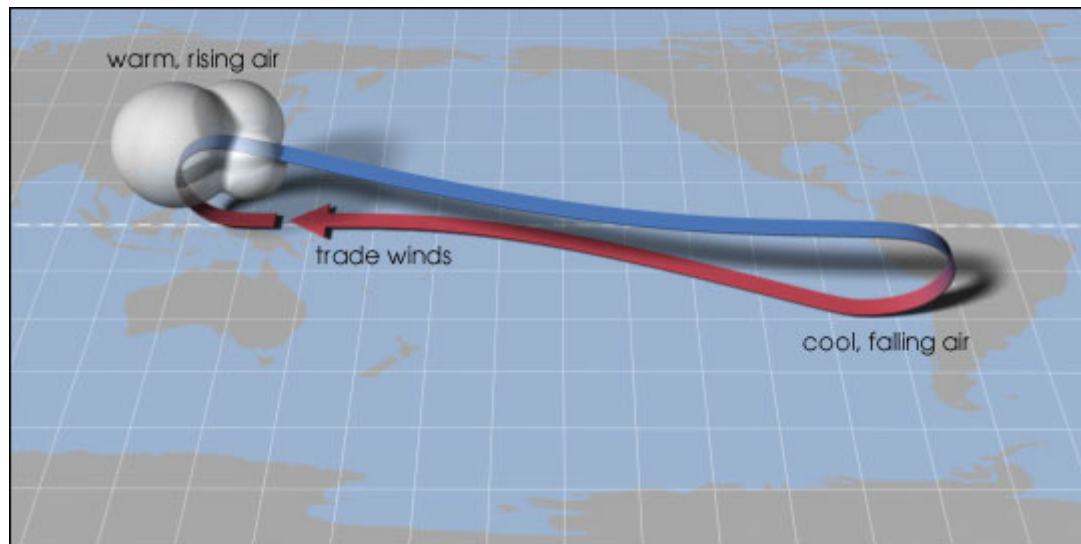
Circulação Global Idealizada

- A distribuição global da precipitação está muito ligada à Circulação Geral da Atmosfera e a distribuição das cadeias de montanhas e planaltos.
 - A chuva na região equatorial está ligada à ZCIT.
 - As regiões com pouca precipitação nas latitudes subtropicais estão localizadas no ramo descendente da Célula de Hadley.
 - Nas regiões de latitudes médias, a precipitação está associada às frentes frias e aos ciclones extratropicais.
- A frente polar é uma faixa muito propícia ao desenvolvimento de vórtices ciclônicos, particularmente em áreas oceânicas.

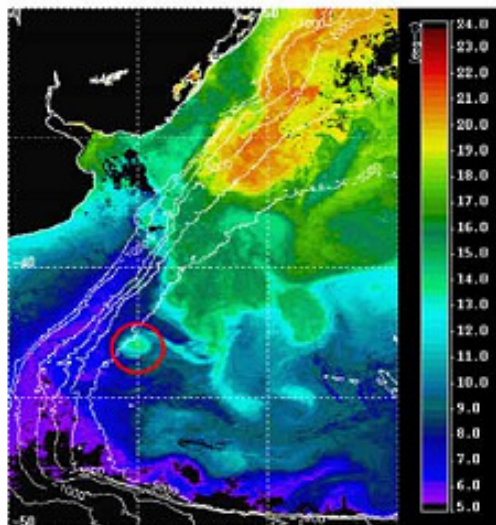
Circulação Global Idealizada

Células de circulação longitudinais:

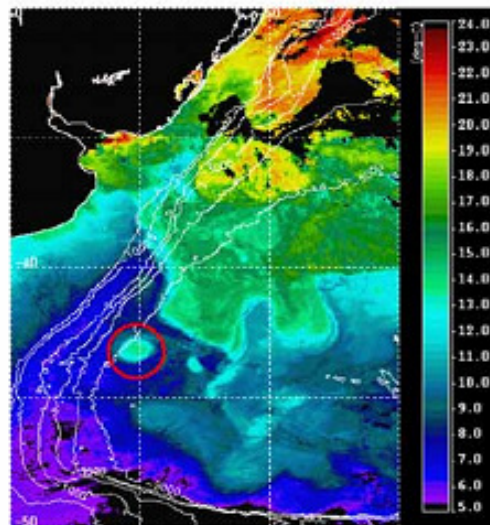
- Na região tropical, além da circulação meridional decorrente da atividade das células de Hadley, existe uma circulação **zonal** em larga escala, devida às **Células de Walker**.
- Ocorre devido ao aquecimento diferencial entre o oceano e o continente (calor específico).



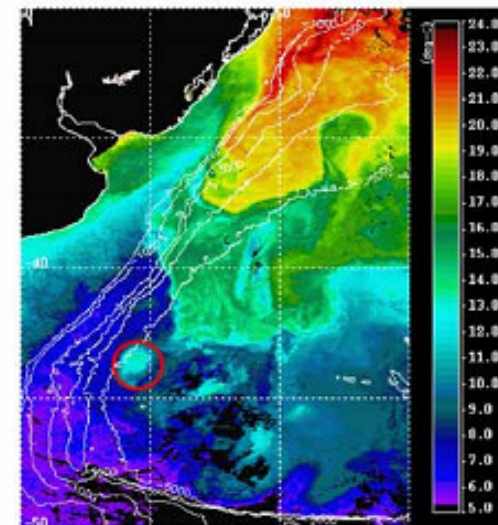
Circulação Global Idealizada



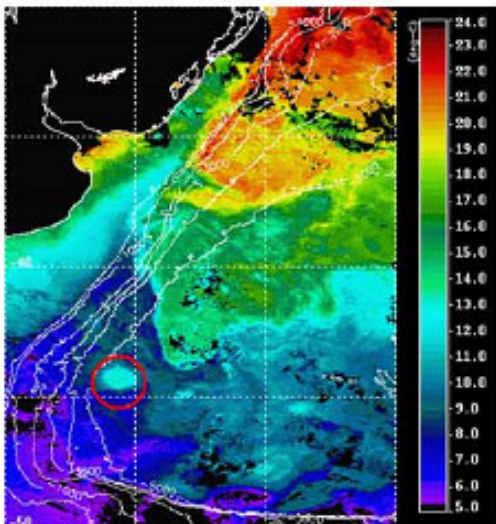
Sep 30 - Oct 6



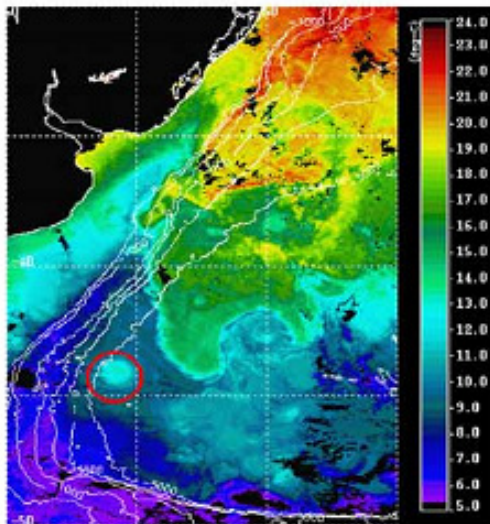
Oct 7 - Oct 15



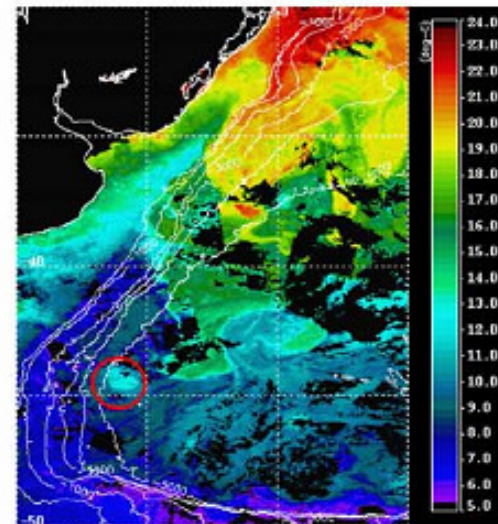
Oct 16 - Oct 23



Oct 24 - Oct 31



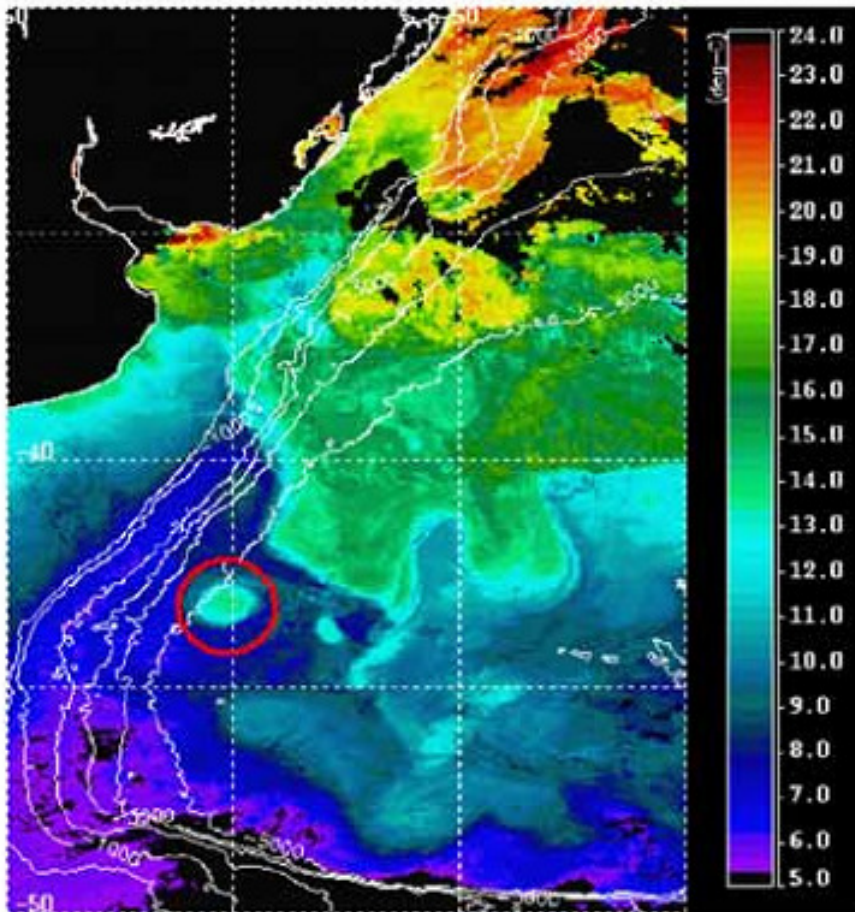
Nov 1 - Nov 8



Nov 9 - Nov 16

Circulação Global Idealizada

TSM MODIS - Média Semanal



Raio: 54Km

Profundidade: 150m

Anomalia de Sal: $1,37 \times 10^{12} \text{Kg}$

Conteúdo de Calor: $1,78 \times 10^{19} \text{cal}$

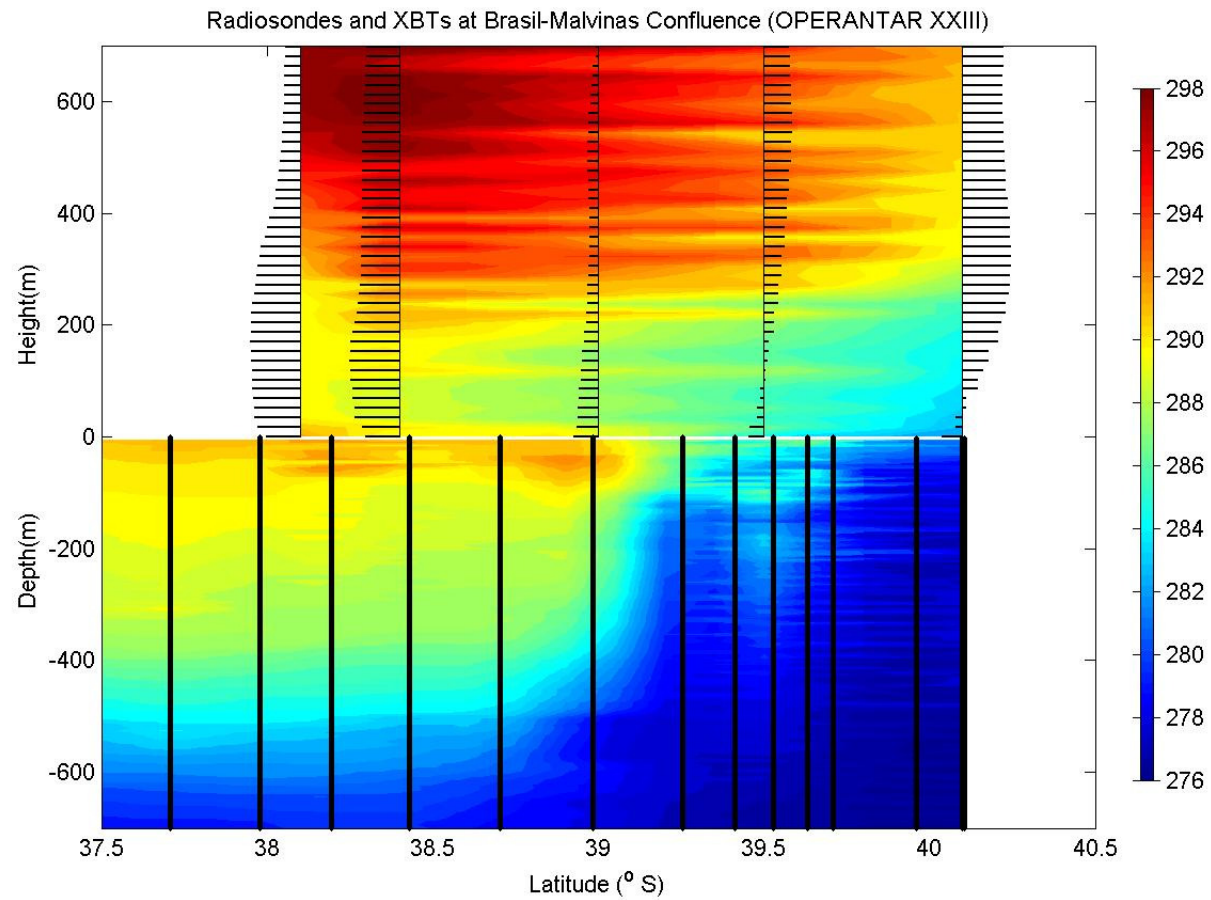
Circulação Global Idealizada

Efeito:

- C
- atr
- A
- oc

Efeito:

- Tra
- Alt
- aero
- Alt





Massas de ar

DEFINIÇÃO: cobrem milhares de quilômetros da superfície;
apresentam uma distribuição horizontal de T e U uniforme;
gradientes de T e U variam pouco com as coordenadas horizontais.

REGIÕES FONTE: a condição ideal para a formação de uma massa de ar é a estagnação do ar sobre uma superfície;
áreas de alta pressão são boas regiões fonte, pois asseguram a divergência a superfície e ventos fracos;
quanto mais prolongado o contato com a superfície, mais espessa a camada de ar atingida por sua influência.

Massas de ar

REGIÕES FONTE: TROPICAL zonas dos ventos alísios dos dois hemisférios, região ocupada principalmente por oceanos, T e U elevadas;

LATITUDES MÉDIAS região dos ventos de oeste, onde as massas de ar são menos homogêneas do que as demais;

POLARES região Ártica (HN) e Antártica (HS). Esta massa é caracterizada por temperaturas muito baixas.

O deslocamento das massas é provocado pela diferença de pressão e temperatura entre as diversas áreas da superfície. Portanto, as massas de ar estão geralmente associadas aos sistemas de baixa e alta pressão.



Massas de ar

CLASSIFICAÇÃO: características térmicas: tropical (T) ou polar (P)

características de umidade: continentais (C) e marítimas (M)

quentes ou frias

Massa de ar	Condição de equilíbrio	Gêneros de nuvens	Caráter da chuva
Fria	Instável	Cu, Cb	Aguaceiro
Quente	Estável	St, Sc	Continua

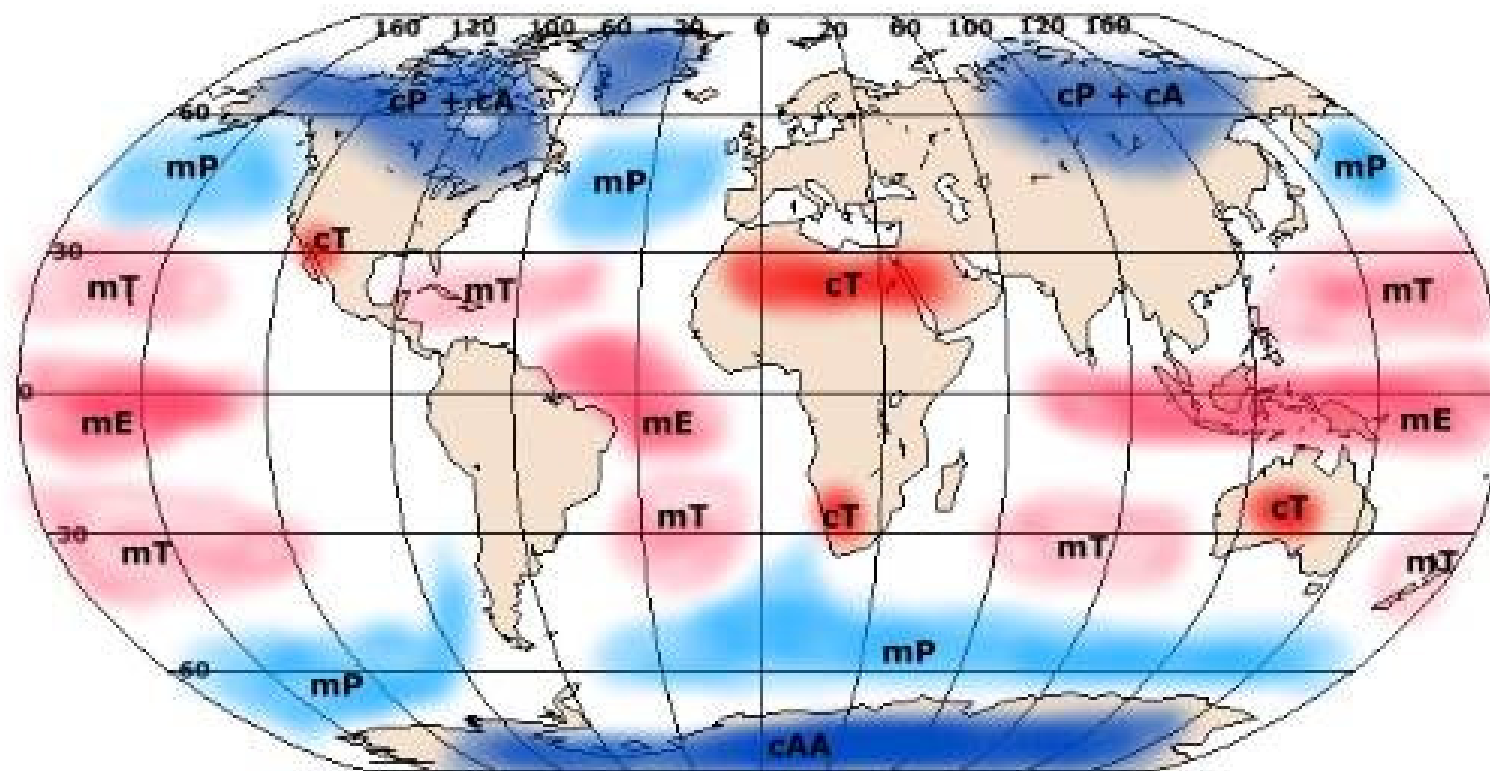
Cu: Cúmulo, Cb: Cumulonimbus, St: Estrato, Sc: Estratocúmulo



Massas de ar atuantes na AS

- i. Massa de ar **E**quatorial **C**ontinental (no noroeste da Amazônia);
- ii. Massa de ar **T**ropical **C**ontinental (na região do Chaco);
- iii. Massas de ar **T**ropical **M**arítima (associadas aos Anticiclones Subtropicais do Atlântico Norte, do Atlântico Sul e do Pacífico Sul);
- iv. Massa de ar **P**olar **C**ontinental (sobre o continente Antártico);
- v. Massa de ar **P**olar **M**arítima (na Patagônia, no sul da Argentina).

Massas de ar atuantes na AS



Influências na circulação regional:

Oceanos Pacífico e Atlântico

Cordilheira dos Andes

Floresta Amazônica

Sistemas meteorológicos que causam precipitação:

Sistemas Frontais

Sistemas Convectivos de Mesoescala

Zona de Convergência do Atlântico Sul

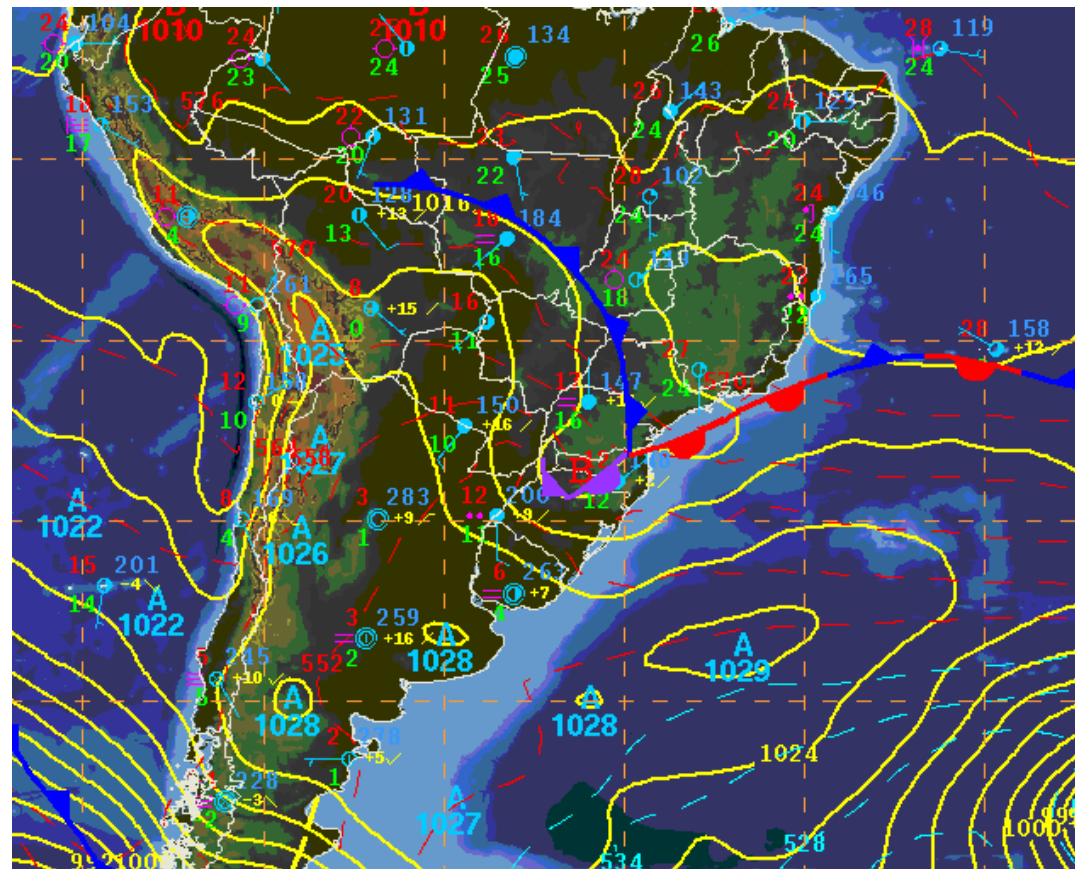
Zona de Convergência Intertropical

Alta da Bolívia

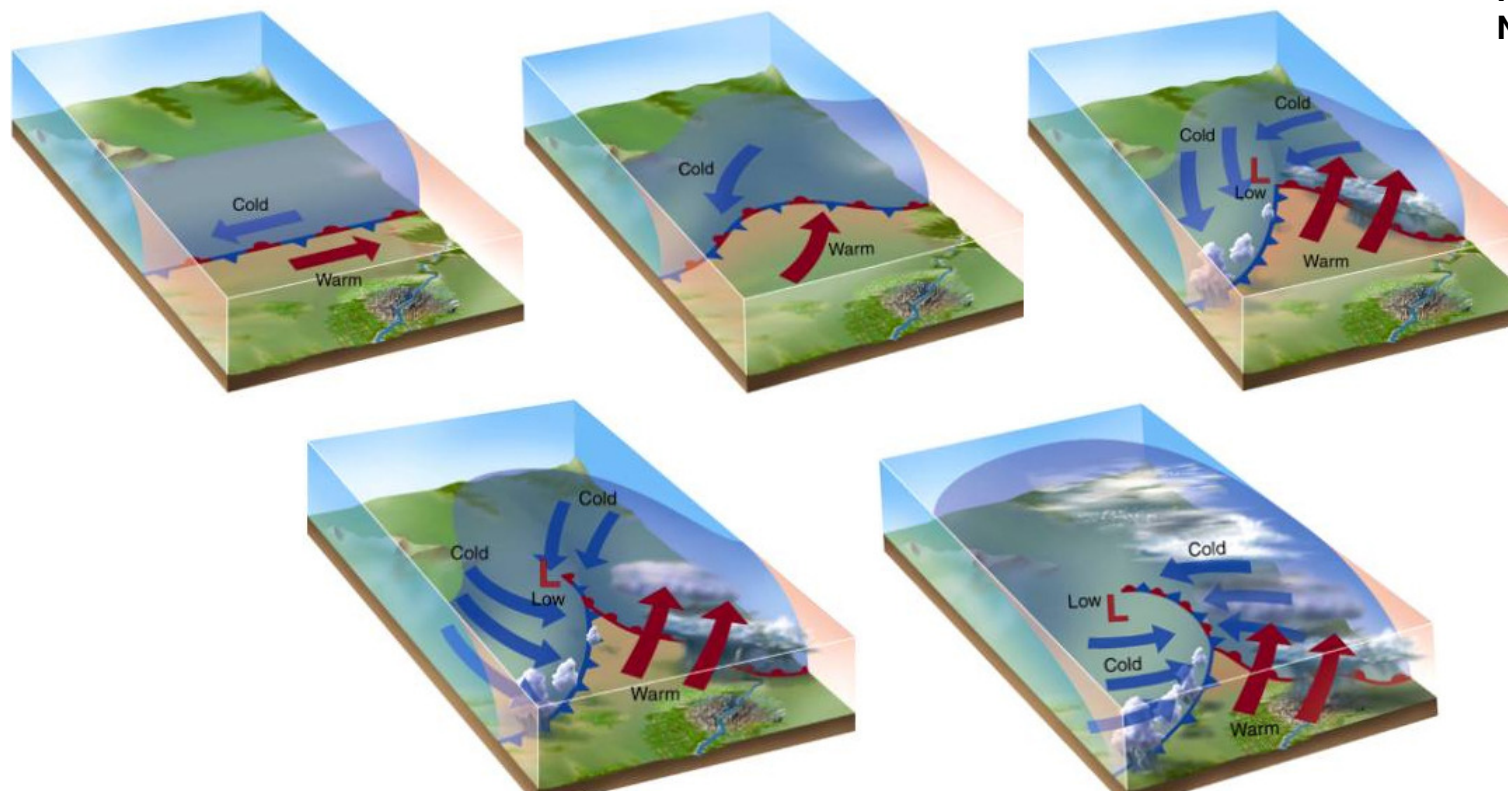
Zona de Convergência do Pacífico Sul

Sistemas frontais

Um sistema frontal clássico é composto por uma **frente fria**, uma **frente quente** e um centro de baixa pressão em superfície, denominado **ciclone**.



Sistemas frontais



Hemisfério
Norte

Evolução de um ciclone extratropical

- 1, 2 e 3 Estágio de onda, sistema nebuloso com forma arredondada.
- 4 Estágio de oclusão, sistema nebuloso com forma de vírgula invertida.
- 5 Estágio de maturação, eliminação do ar quente da superfície.



Sistemas frontais

Na América do Sul: são responsáveis por grande parte da precipitação no norte da Argentina, Uruguai, Paraguai, regiões sul, sudoeste e oeste central do Brasil, Bolívia e sul do Peru

durante a primavera e verão organizam-se com a convecção tropical causando intensa atividade convectiva sobre a Argentina, Brasil, Bolívia e leste do Peru

sua atividade convectiva é muito baixa nos meses de inverno, especialmente em junho e julho

são mais freqüentes na faixa latitudinal sul entre 35° e 40° S (cerca de 9 por mês) e menos freqüente ao norte de 20° S (cerca de 2 por mês)



Sistemas convectivos de mesoescala

Se formam no **Paraguai, norte da Argentina, Uruguai, e sul do Brasil** especialmente no período de **novembro a abril**.

Esses sistemas se movem na direção leste da sua região fonte.

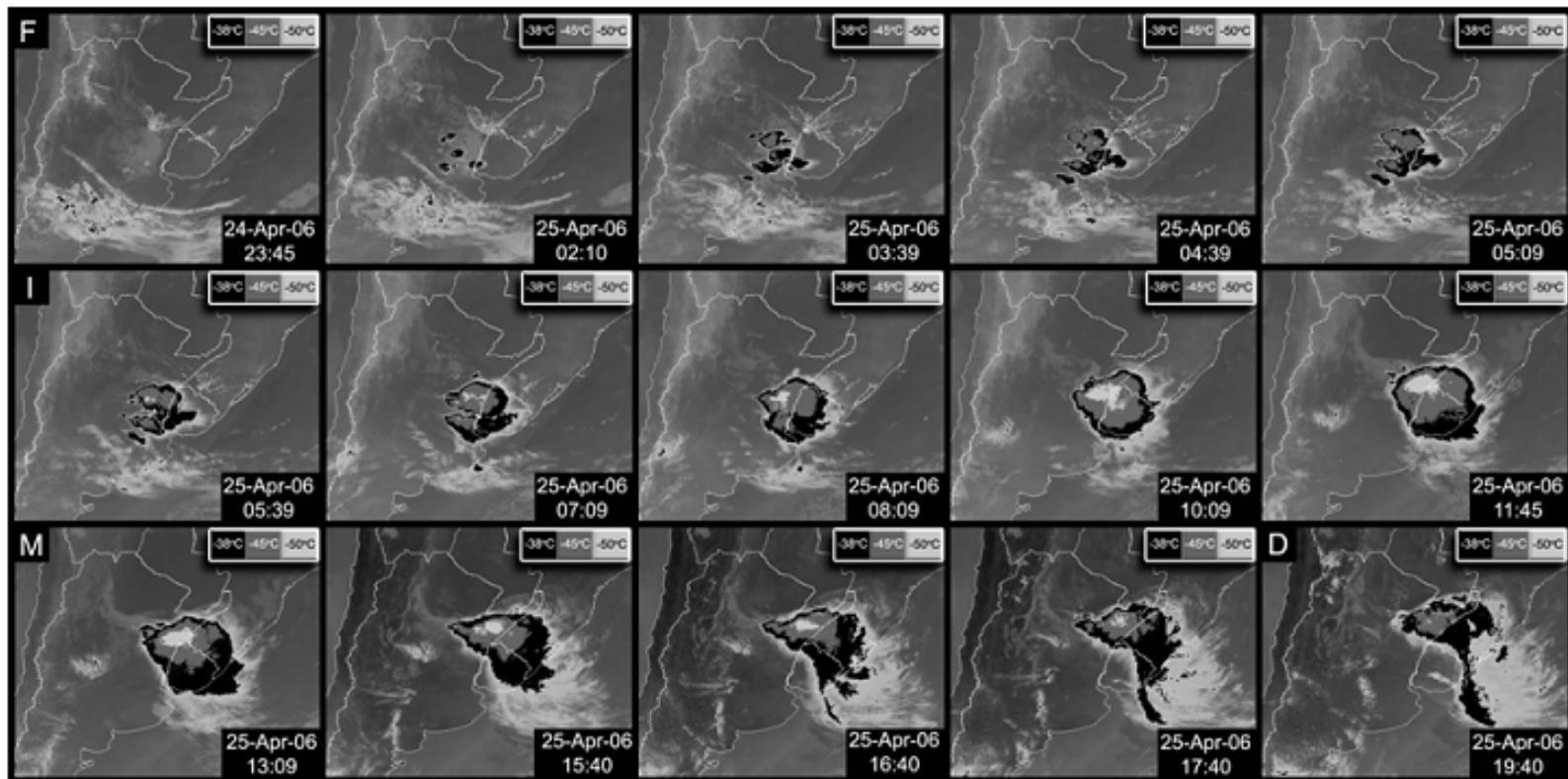
O jato de baixos níveis provê o transporte de umidade necessária para a formação das nuvens e precipitação.

Em geral, estes sistemas são **continentais e noturnos**.

Os SCM de **latitudes médias** começam a se formar no final do dia e atingem seu máximo desenvolvimento durante a madrugada, se dissipando no final da manhã seguinte.

Nas **latitudes mais baixas**, os SCMs têm praticamente o mesmo comportamento, mas seu ciclo de vida tem início mais tardio e a preferência para a sua formação é na região boliviana e colombiana, praticamente durante o ano todo.

Sistemas convectivos de mesoescala



O momento em que estas primeiras tempestades aparecem tem grande variação, mas ocorrem com maior frequência próximo das 00UTC.



Zona de Convergência do Atlântico Sul

A ZCAS é caracterizada por uma banda de nebulosidade convectiva, que nos meses de primavera e verão, se estende da região Amazônica até o Atlântico subtropical (NW/SE).

Tem duração que varia de 3 a 10 dias.

Esta nebulosidade é resultado da interação da convecção tropical com sistemas extratropicais, como as zonas frontais.

Está associada à intensa atividade convectiva da região Amazônica, formando-se ao longo de jatos subtropicais em altos níveis.

Os mecanismos que **originam** e **mantém** a ZCAS não estão ainda totalmente definidos, porém, estudos observacionais e numéricos indicam que esse sistema sofre influências tanto de **fatores remotos** quanto **locais**.



Zona de Convergência Intertropical

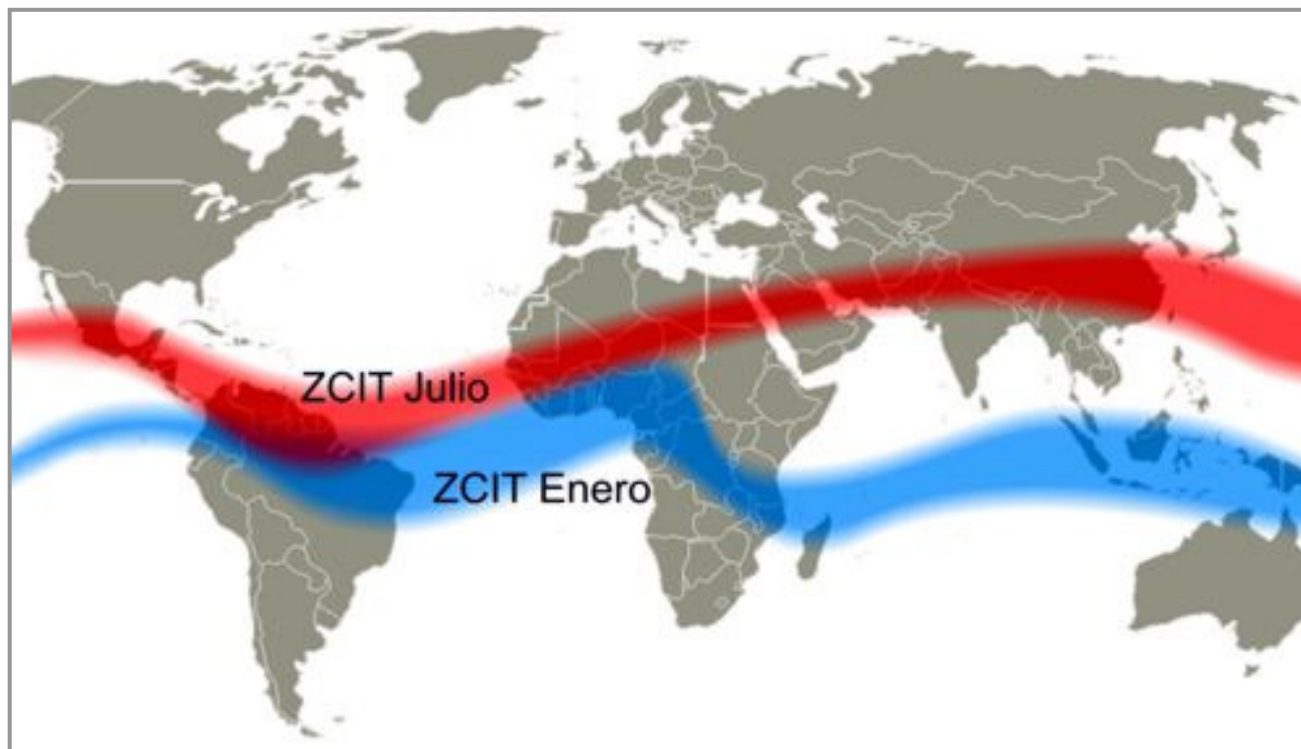
É a zona de confluência dos alísios de nordeste com os de sudeste.

Atua durante todo o ano oscilando na faixa equatorial, sua posição média é 5°N (14°N em agosto e setembro e 2°S em março e abril).

A ZCIT tem uma influência primordial no clima de várias regiões nos trópicos.

A variação na posição da ZCIT pode resultar em períodos de estiagem ou de chuvas intensas sobre o sertão nordestino, durante a estação chuvosa.

Zona de Convergência Intertropical



Distribuição da precipitação na AS

A AMÉRICA DO SUL se estende meridionalmente de 10°N a 60°S, apresentando características de tempo e clima **tropical, subtropical e extratropical**.

Precipitação anual:

Amazônia	→	leste 1500 mm/ano oeste e nordeste 3500 mm/ano central 2800 mm/ano
Colômbia	→	oeste 5000 mm/ano (pequena região)
Peru	→	leste e regiões a leste das montanhas andinas 3000 mm/ano

Distribuição da precipitação na AS

Precipitação anual no Brasil:

Região Norte o maior total pluviométrico anual

noroeste da Amazônia, associada à ZCIT

parte central e parte leste da bacia Amazônica, devido as linhas de instabilidade que se formam ao longo da costa

Região Nordeste apresenta regimes de precipitação muito variados e complexos

Região Sul possui distribuição anual de precipitação bastante uniforme

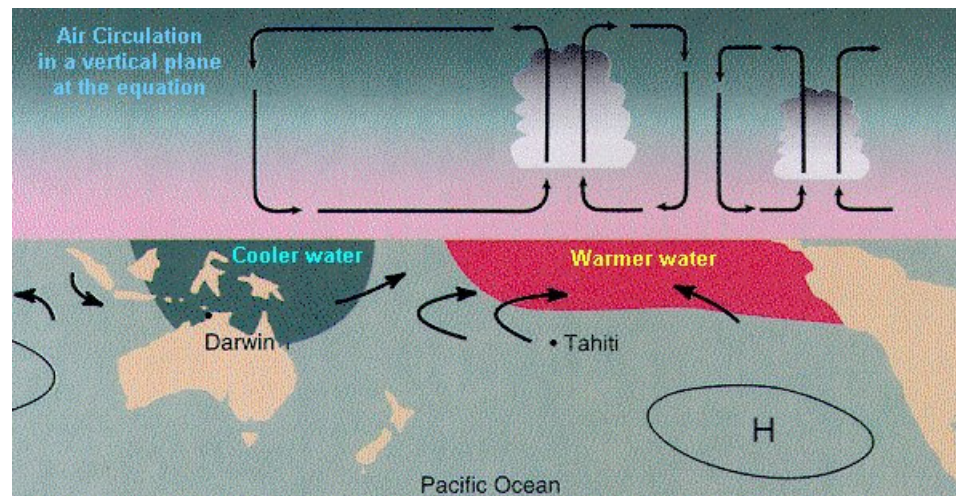
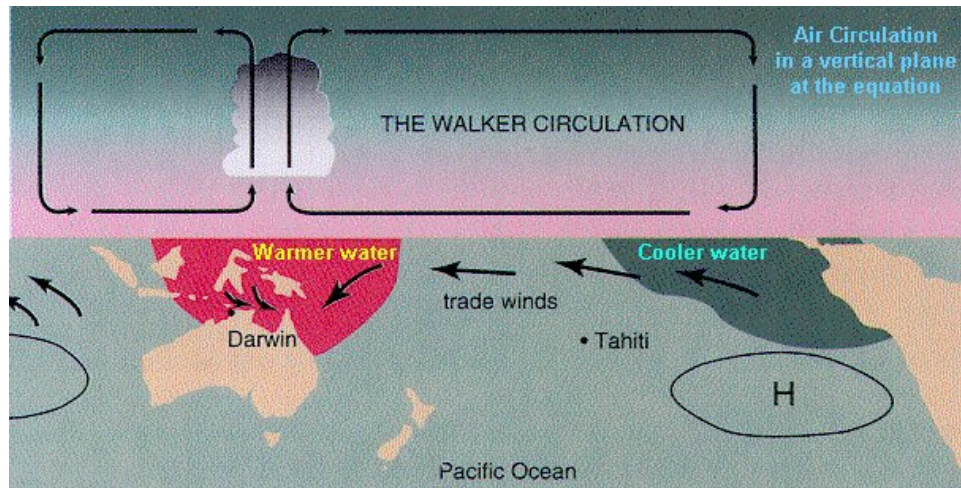
os SF são responsáveis por grande parte dos totais pluviométricos

SCM e os vórtices ciclônicos de ar frio, que se formam na retaguarda de algumas frentes frias, também são responsáveis por precipitação intensa

Precipitação anual no Brasil:

Região Sudeste e Centro Oeste	transição entre os climas quentes de latitudes baixas e os climas temperados de latitudes médias
	ZCAS é um dos principais fenômenos que influenciam o regime de precipitação

Influência do ENOS na precipitação



Influência do ENOS na precipitação

- Ropelewski e Halpert (1987), em seu estudo para verificar a relação entre o ENOS e o padrão de precipitação, notaram considerável relação entre os eventos ENOS e o padrão de precipitação no **Oceano Pacífico, Austrália, África do Sul, América Central e América do Sul.**
- O continente sul-americano é o que possui uma **melhor correlação** entre esses padrões, sendo que a correlação é mais forte nas regiões **nordeste e sul** do Brasil.
- Durante os eventos ENOS tem sido identificadas chuvas deficientes em vastas áreas, como o nordeste do Brasil e a Amazônia bem como excesso de chuva no sul do Brasil e parte da costa do Peru e Equador.





Influência do ENOS na precipitação

- No **Chile central** observa-se abundante precipitação no inverno durante a ocorrência de episódios de El Niño, e seca, durante eventos de La Niña.
- No **Uruguai** os anos de ocorrência de El Niño apresentam precipitação maior do que o normal nos meses de **novembro a janeiro**. Anos de La Niña apresentam precipitação abaixo do normal nos meses de **outubro a dezembro**.
- O período de **março a julho** tem precipitação acima da normal em anos subseqüentes aos de ocorrência de El Niño e precipitação abaixo da normal em anos subseqüentes com alto IOS.

Sistemas Frontais:

- Durante o El Niño de 1990 a 1994 os sistemas frontais tiveram comportamento anômalo, sendo que a maioria deles não se deslocou de sul para norte e foi intensificado na região Sul, o que causou enchentes em algumas cidades.
- A ocorrência de frentes frias na faixa latitudinal de 20°S e 40°S foi **maior** em anos de **El Niño (1997)** do que no ano de La Niña (1996) quando estes fenômenos estavam em suas fases mais ativas.
- Para os dois anos analisados as frentes frias foram observadas mais ao sul da AS, mas em anos de El Niño, as frentes tiveram maior frequência sobre o Rio Grande do Sul e Uruguai.
- Em anos de El Niño, o jato subtropical se intensifica, devido ao aumento do gradiente de temperatura norte-sul, bloqueando o avanço das frentes para as latitudes mais baixas.

Sistemas Convectivos de Mesoescala:

- O número de SCM na região norte da Argentina e Paraguai em um ano de El Niño **é mais que o dobro** do número observado em um ano normal, o que causa o aumento da precipitação no Sul do Brasil.
- Este fato está ligado a maior intensidade do jato subtropical em anos de El Niño.

Zona de Convergência do Atlântico Sul:

- Em anos de El Niño a ZCAS tende a se formar fora de sua região preferencial ou a ter sua atividade convectiva inibida.

Tempestades Intensas

- Zipser et al. (2006) utilizando seis anos de dados do satélite TRMM, mapeou os casos de **convecção severa** mais extremos no globo, enfatizando o **sul da América do Sul** como a área com as **tempestades mais intensas** na Terra.

- Um sistema de tempo que produz intensa precipitação, sempre está relacionado a atividade convectiva e é o resultado da **interação de mecanismos físicos de diferentes escalas**.

- A **evolução ou intensificação** das tempestades convectivas é resultado da ação dos processos de **escala sinótica**. Já o **início** do seu desenvolvimento parece estar mais relacionado aos processos de **mesoescala**.

- Em suma, a formação de um ambiente favorável ao desenvolvimento de um sistema que gere chuvas intensas depende principalmente dos processos de escala **sinótica** que contribuem para **desestabilizar o ambiente local**, e de processos de **menor escala**, que fornecem as condições para o **levantamento inicial**.



Tempestades Intensas

De acordo com o sistema sinótico presente na área atingida, as enchentes podem ter características diferentes.

- Se o sistema é de **escala subsinótica** e desloca-se **rapidamente**, a precipitação associada geralmente ocorre em grande intensidade e pode ocasionar as chamadas **enchentes urbanas**. Neste tipo de enchente, há um rápido crescimento do nível das águas pouco tempo após a ocorrência de precipitação. A gravidade das conseqüências depende principalmente da atuação do sistema de drenagem local.
- Quando o **sistema sinótico** desloca-se mais **lentamente**, a precipitação associada geralmente não é muito intensa, porém contínua durante um período de tempo relativamente grande (até vários dias), embora possam ocorrer eventuais pancadas de chuvas. Neste caso, quando as características físicas (topográficas) da região permitirem, pode haver extravasamento da calha dos rios e, como conseqüência, a inundação de grandes áreas. O retorno dos rios aos seus níveis normais irá depender de vários fatores físicos da bacia hidrográfica, tais como o tempo e velocidade do escoamento das águas.



Tempestades Intensas

O impacto de uma tempestade com chuvas intensas depende muito da **densidade da população** e do **desenvolvimento da região atingida**.

As chuvas intensas interagem com as características hidrológicas e orográficas locais, determinando a ordem de grandeza dos prejuízos.

Se a área afetada é isolada, os prejuízos podem ser pequenos. Entretanto, se a área atingida é desenvolvida e densamente povoada, os efeitos podem ser trágicos.

A satellite image of South America, showing the continent's outline and internal borders in white. A large green area is overlaid on the continent, primarily covering the Amazon basin and parts of the surrounding regions. The background is a satellite view of the Earth, showing clouds and the ocean. The text "Muito Obrigada!" is written in white, bold font on the left side of the image.

Muito Obrigada!

camila.ferreira@crs.inpe.br