

Análise Sazonal dos Fluxos Radiativos no Oceano Atlântico Tropical

Flávio B. Justino
Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
Rod. Pres. Dutra, Km 40 - Cachoeira Pta. SP
fbj@cptec.inpe.br

Abstract

This work seeks analyze the radiative flux in the tropical Atlantic from Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set. The flux analyzed are solar radiation, outgoing long radiation, net surface heat flux, sensible and latent flux. It was done a harmonic analysis to know the seasonal variability with objective to identify the areas with largest amplitudes and variances. The harmonic analysis shows that solar radiation and net surface heat flux have a behaviour out of phase in -10° - 30° , 10° - 30° and at west Atlantic. Next Guinea Gulf the semi-annual harmonic explicated the 90% of variance. The analysis of maximus and minimus of net surface heat flux and solar radiation not is coincident with maximus and minimus of sea surface temperature, showing the strong influence of heat carry of oceanic currents.

Resumo

A partir dos dados provenientes do Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set é feita uma análise dos fluxos radiativos (Radiação Solar, Saldo de Radiação de Ondas Longas, Fluxo de Calor Sensível e Latente e do saldo do fluxo de calor a superfície), com o objetivo de conhecer suas variabilidades sazonais e possíveis implicações no comportamento da temperatura da superfície do mar. A análise harmônica mostrou um comportamento de fase entre a radiação solar incidente e o saldo do fluxo de calor a superfície fora da zona equatorial e na parte oeste da bacia. Junto ao Golfo da Guiné o harmônico anual não explica a variabilidade dos dados mostrando a forte influência do ciclo semi-anual. A observação entre os máximos e mínimos do saldo do fluxo de calor a superfície e da radiação incidente não é coincidente com os máximos e mínimos da temperatura superfície do mar, ilustrando a forte influência do entranhamento e do calor transportado pelas correntes oceânicas como moduladora da temperatura superfície do mar.

1. Introdução

O oceano Atlântico tropical tem um forte sinal do ciclo anual da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) e da Tensão de Cisalhamento do vento. Giese e Carton (1993) mostraram que os fluxos de calor são importantes como moduladores da TSM. Eles chegaram a conclusão de que o aquecimento solar é mais importante ao sul de 5° S e a norte de 10° N e que o fluxo de calor latente induzido pelo vento é mais importante entre 15° S- 8° S. Justino (2000) mostrou com uma análise harmônica que a zona equatorial não apresenta um ciclo sazonal definido devido a alta variabilidade dos ventos alísios. A observação do campo de TSM mostra comportamentos diferentes entre as bacias norte-sul e leste-oeste do Atlântico como resultado da variação da incidência da radiação solar bem como aos diferentes sistemas de vento, correntes e entranhamento entre as camadas. Neste trabalho procuramos contribuir com o conhecimento sazonal do Oceano Atlântico analisando dos fluxos radiativos.

2. Materiais e Métodos

Os dados utilizados neste trabalho são provenientes do Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set (COADS), que é composto por um extenso número de observações durante o período de janeiro de 1945 a dezembro de 1989. Estes dados são médias mensais com resolução de $1^\circ \times 1^\circ$ de latitude-longitude, provenientes de projetos de colaboração entre a University Winsconsin-Milwaukee e o National Ocean Atmosphere Data Center. Visando analisar o comportamento sazonal dos fluxos da irradiância na superfície do Oceano Atlântico tropical é feita uma análise harmônica (Wilks, 1995), que consiste em representar as flutuações ou as variações de uma série temporal com base em funções senos e cosenos. Os fluxos analisados são radiação solar, saldo de radiação de ondas Longas, calor sensível e calor latente.

As equações usadas nas estimativas dos fluxos de radiação solar e radiação de ondas longas são de acordo com Rosati e Miyakoda (1988), e os fluxos de calor sensível e latente é o mesmo usado por Large e Pond (1982):

Radiação Solar

$$\begin{aligned} Q_s &= Q_{tot} (1 - 0.62C + 0.0091b)(1 - a) \\ Q_{tot} &= Q_{difusa} - Q_{direta} \end{aligned} \quad (1.1)$$

Saldo de Radiação de Ondas Longas

$$Q_b = \sigma T_s^4 (0.39 - 0.05e_a^{0.5})(1 - BC) + 4\sigma T_s^3 (T_s - T_a) \quad (1.2)$$

Ts = Temperatura do Oceano

Ta = temperatura do ar

Fluxo de Calor Sensível

$$H_a = r_a C_{pair} C_T |V| (T_s - T_a) \quad (1.3)$$

Fluxo de Calor Latente

$$E_a = r_a L_E C_E |V| (e_{ts} - e_{ta}) \quad (1.4)$$

B = 0.8, C=0 para céu claro,

|V| = Magnitude do Vento

1-BC = Fração da nebulosidade,

$$r_a = 1.2 \times 10^{-3} \text{ g cm}^{-3}$$

$$C_p = 1.005 \times 10^3 \text{ J Kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

$$L_E = 2.501 \times 10^6 \text{ J kg}^{-1}$$

$$C_T = C_E = 1.1 \times 10^{-3}$$

Saldo do Fluxo de Calor a Superfície (Rosati e Miyakoda, 1988)

$$\begin{aligned} Q &= Q_s - Q_u \\ Q_u &= Q_b - H_a - L_E E_a \end{aligned} \quad (1.5)$$

3. Resultados e Discussão

Análise Sazonal

3.1 Radiação Solar

A distribuição sazonal da incidência da radiação solar (S_w) no Atlântico tropical (30°N - 30°S) pode ser vista na figura 3.1. Na zona equatorial durante todo o ano os valores estão em torno de 240Wm^{-2} com máximo de 280Wm^{-2} no litoral do nordeste do Brasil em setembro-outubro-novembro, apresentando diferenças entre as bacias norte-sul e leste-oeste. Durante dezembro-janeiro-fevereiro (DJF) a S_w no Hemisfério Sul (HS) é até 120Wm^{-2} superior a encontrada no Hemisfério Norte (HN). Em março-abril-maio (MAM) e setembro-outubro-novembro (SON) é quando se observa a maior similaridade na S_w entre os dois hemisférios com a declinação solar estando próximo a 0° . Carton e Zhou (1994) com resultados de simulações numéricas chegaram a conclusão que o aquecimento solar é mais importante para o ciclo anual da TSM ao sul de 5°S e a norte de 10°N . A análise harmônica (fig. 3.2a) mostra que no Golfo da Guiné é onde existe a menor amplitude anual, mostrando que esta é a região no Atlântico tropical que recebe a maior incidência de S_w . A fase do primeiro harmônico mostra uma defasagem na zona equatorial entre as bacias leste e oeste, indicando que a distribuição de S_w não apresenta a mesma evolução temporal zonal. No leste, onde o harmônico semi-anual é mais representativo os máximos são observados nos meses de fevereiro e outubro, enquanto na parte oeste são observados em junho em 7°N e em outubro em 3°S que são coincidentes com o verão em ambos hemisférios.

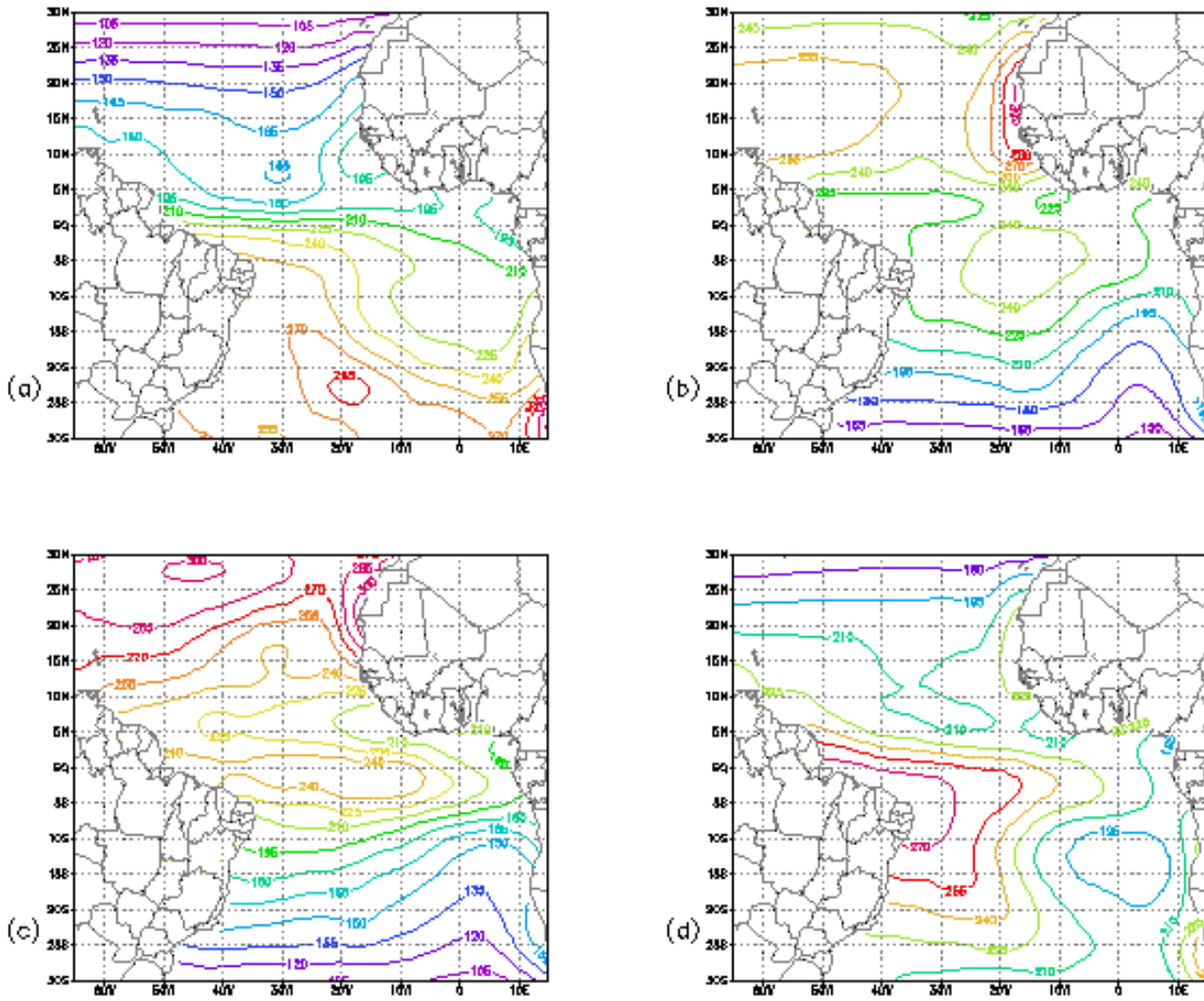


Figura 3.1 - Comportamento Sazonal da S_w (a) DJF, (B) MAM, (C) JJA (D) SON

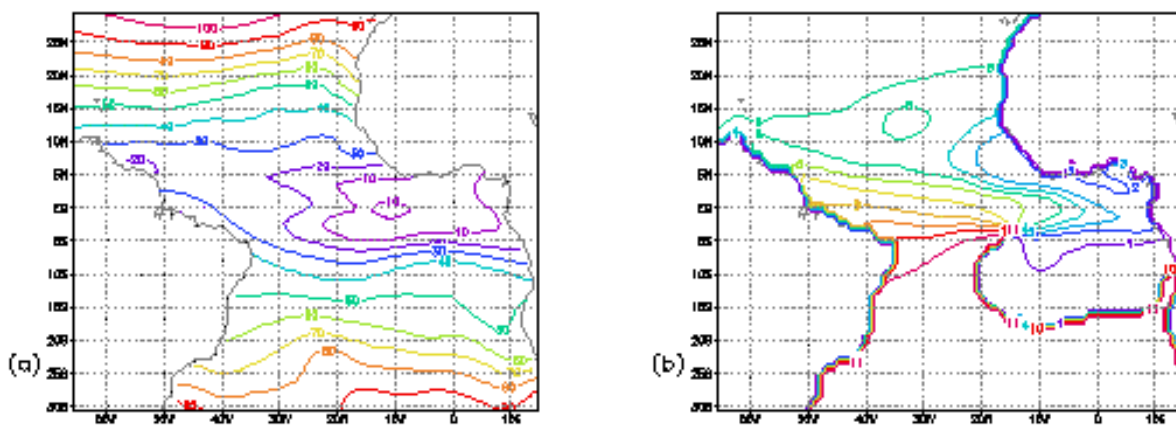


Figura 3.2 - Comportamento Harmônico de S_w (a) Amplitude (Nm^{-2}) (b) Fase (Meses)

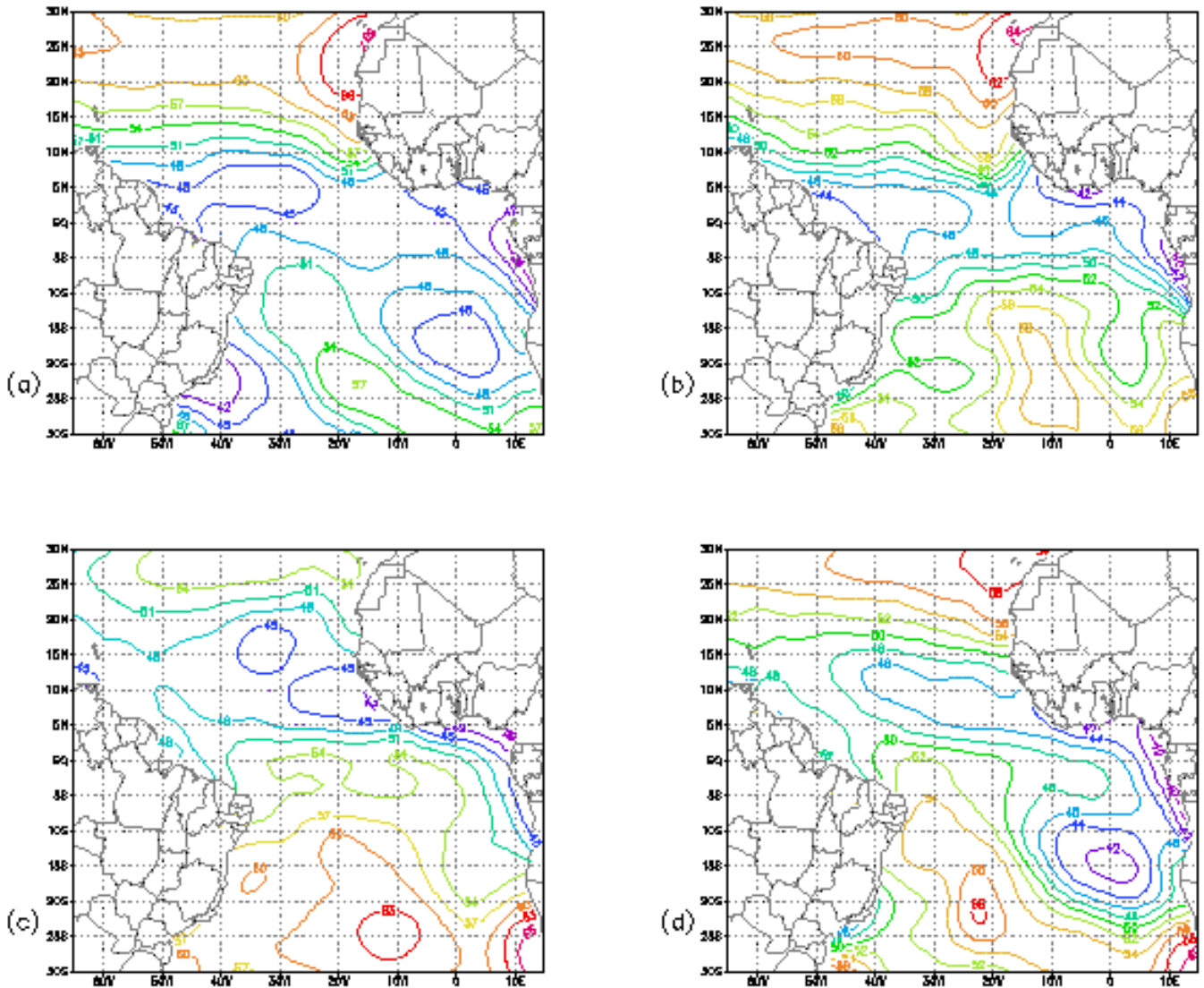


Figura 3.3 - Comportamento Sazonal de ROL (a) DJF, (B) MAM, (C) JJA (D) SON

3.2 Saldo de Radiação de Onda Longa

O comportamento sazonal do saldo da radiação de onda longa (ROL) pode ser observado na figura 3.3. A região compreendida entre 5°S e 5°N é a que apresenta os menores valores de ROL, pois as temperaturas do ar e do mar apresentam pequenas diferenças bem como esta é a zona de convergência dos alísios que apresenta alta nebulosidade. De junho a novembro junto a costa da África no Hemisfério Sul a emissão de ROL é menor que a observada próximo a costa oeste. Nesta região apesar das diferenças entre T_s e T_a serem consideráveis os valores de T_s são pequenos. O termo mais representativo para a emissão de ROL é o que inclui a nebulosidade e eleva T_s a quarta potência. Pode-se observar que nas regiões ao sul de 10°S e ao norte de 10°N junto a costa da África, os valores de ROL são mais altos como resultado da menor nebulosidade sobre a corrente das Canárias e na corrente de Benguela. É importante notar que estes dados de nebulosidade são observações visuais que podem apresentar erros com a presença de fometeoros, já que as nuvens muitas vezes não podem ser vistas.

A análise da fase do primeiro harmônico mostra que os máximos em emissão de ROL ocorrem com uma defasagem de 6 meses entre as partes norte e sul do Atlântico. No HN os máximos são em janeiro e fevereiro enquanto no HS são em junho e julho. Indicando que a maior cobertura de nuvens em ambos hemisférios se dá no verão.

3.3 Fluxos de Calor Latente e Sensível

A análise dos fluxos de calor latente (E_a) e sensível (H_a) é importante já que os mesmos contribuem para a quantidade do saldo de calor à superfície (Eq. 1.5). Os valores de E_a (Figura não mostrada) são em média da ordem de 6 W/m^2 em ambos hemisférios. Valores negativos de E_a são encontrados em torno de 30°S indicando que o oceano é mais frio que a atmosfera adjacente. Por outro lado o fluxo de calor latente apresenta valores médios da ordem de 120 W/m^2 na parte central do Atlântico, diminuindo em direção a costa da África, onde chega a 60 W/m^2 . O fluxo de calor latente na zona equatorial não apresenta grandes variações ao longo do ano, os máximos são observados em MAM e os mínimos em DJF. A diminuição que se observa na costa da África é resultado dos baixos valores de TSM que implicam em pequenas diferenças entre a tensão de vapor ar-mar. O primeiro harmônico de E_a mostra um comportamento de fase similar ao encontrado por Justino (2000) com a tensão de cisalhamento de vento que tem máximos de janeiro a novembro para o HN e de junho a agosto para o HS.

Em torno do Equador em $25^\circ\text{W}-0^\circ$ pode-se observar o máximo na liberação de calor latente nos meses de março a junho que é coincidente com o período em que as ondas de leste vindas da África provocam precipitação no litoral do nordeste.

4. Sumário e Conclusões

A análise em separado dos termos responsáveis pela quantidade de calor no Oceano é importante para saber suas magnitudes e qual o período que estes tem seus valores máximos. A Figura 3.1 mostra o saldo do fluxo de calor (Q) proveniente do COADS. A observação ao norte de 10°N e ao sul de 10°S ilustra bem o verão em ambos hemisférios. Durante DJF com o verão no HS os valores de S_w são máximos refletindo num maior valor de Q . Enquanto no HN ocorre o inverso. Estes comportamentos são resultados da influência do fluxo de calor latente que ao longo do ano sofre variações menos acentuadas. A menor contribuição para Q é dada pelo fluxo de calor sensível que é função da diferença de temperatura ar-mar. Quando estas diferenças são pequenas este termo é pequeno, entretanto ao norte de 15°N estas diferenças podem ser grandes e este termo mudar de sinal. Na zona equatorial onde a variação de S_w é pequena ao longo do ano o calor latente é responsável pela variação sazonal de Q . Mesmo não apresentando altos valores de TSM a região da corrente das Canárias apresenta o maior saldo de calor como resultado dos altos valores de radiação incidente. A observação da variância do 1º harmônico mostra que a região do Golfo da Guiné apresenta um comportamento anual na S_w e ROL resultando numa estrutura semi-anual de Q . Fora da zona equatorial o ciclo anual é dominante explicando cerca de 90% da variância. Uma característica importante observada é que os maiores valores de Q e S_w não estão localizados sobre as áreas de maiores valores de TSM. Indicando que para modular a TSM é importante além da análise dos fluxos radiativos observar o entranhamento bem como o calor transportado pelas correntes oceânicas.

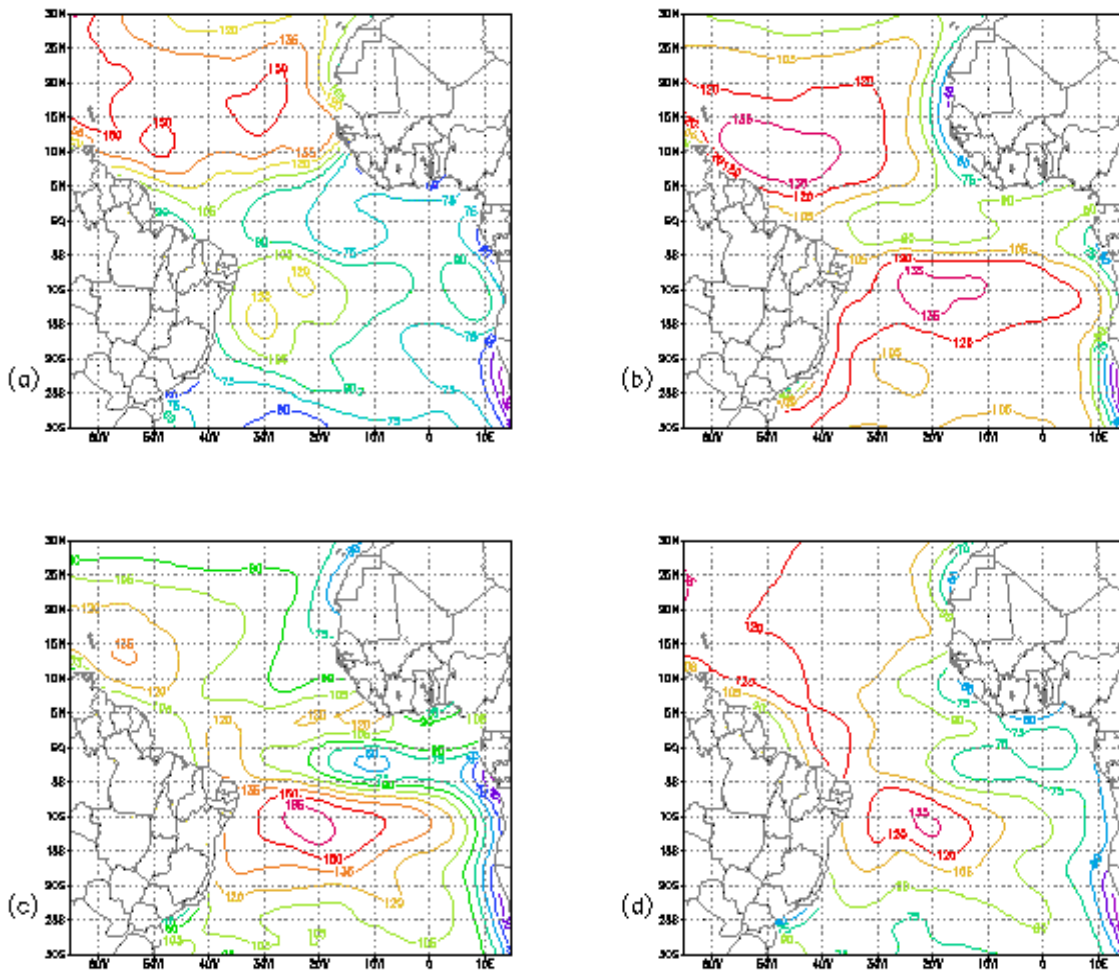


Figura 3.3 - Comportamento Sazonal da emissão de calor latente (a) DJF, (B) MAM, (C) JJA (D) SON

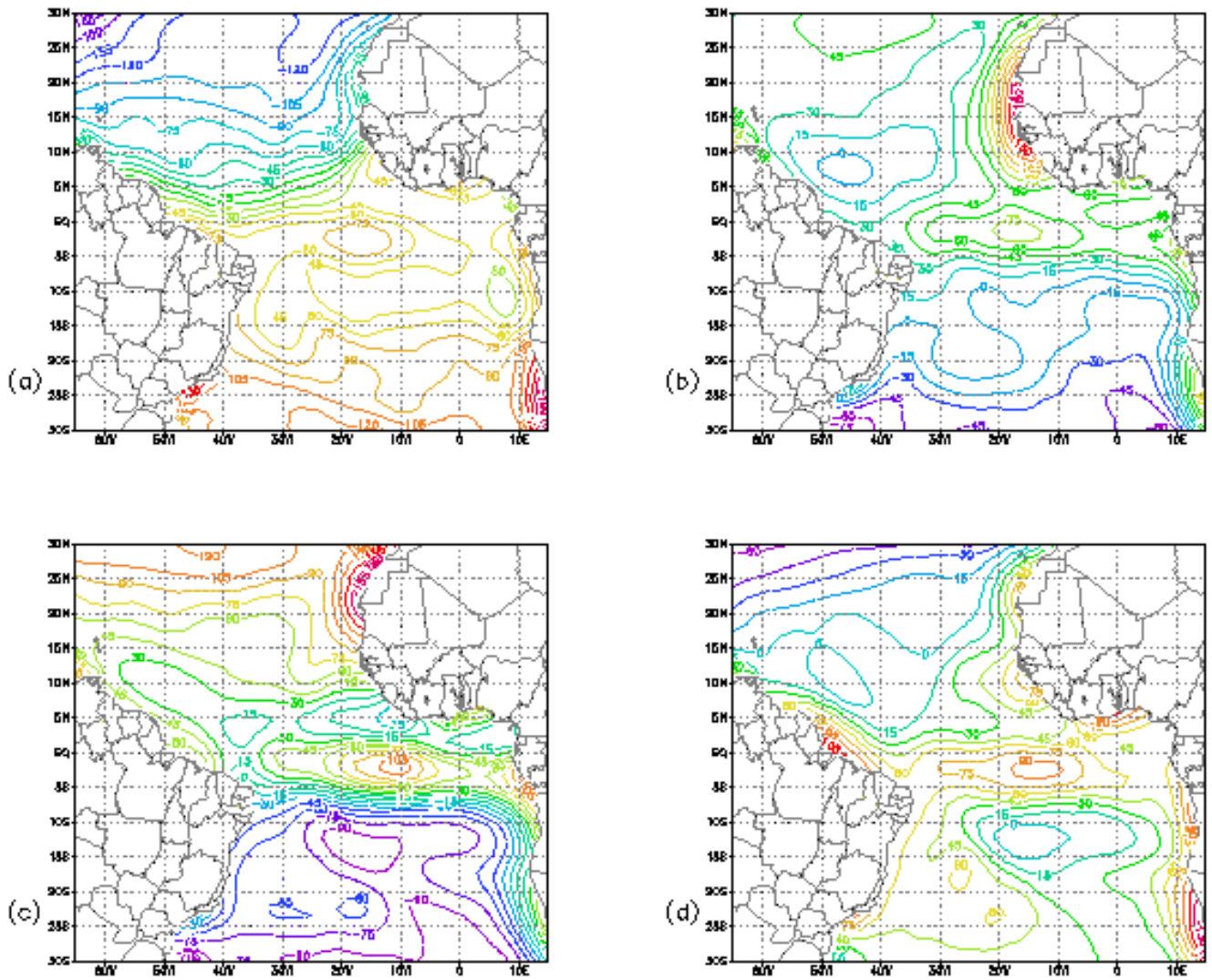


Figura 3.4 - Saldo do fluxo de calor a superfície (Wm^2) (a) DFJ (b) MAM (c) JJA (d) SON

Referências Bibliográficas

Giese B. S. e Carton J. A.; The seasonal cycle in a coupled Ocean-Atmosphere Model. *Journal of Climate*, 7, 1208-1217, 1994

Justino F.B. Análise do Ciclo sazonal do Oceano Atlântico Tropical a partir de conjuntos climatológicos e modelagem numérica. Dissertação de Mestrado Instituto Oceanográfico da USP. 2000, 65pp.

Rosati A. e Miyakoda K - A general circulation model for upper ocean simulation. *JPO*, 18(11), 1601-626.

Wilks D. - *Statistical Methods in the Atmosphere sciences. An introduction.* Academic Press, pp467.1995