



Precipitação do Sahel e a Oscilação Decadal do Pacífico

Cristiano da Silva CARDOSO¹, Luiz Carlos Baldicero MOLION², Anderlan Henrique Batista SIQUEIRA³, Michelle da Silva CARDOSO⁴, Iris Lisiê Gomes NETO⁵.

¹ Universidade Federal de Pelotas, Pelotas – RS, Mestrando em Meteorologia, cristianoufal@yahoo.com.br

² Universidade Federal de Alagoas, Maceió – AL, PhD Professor Adjunto, molion@radar.ufal.br

³ Universidade Federal de Alagoas, Maceió – AL, Mestrando em Meteorologia, anderlansiqueira@gmail.com

⁴ Universidade Estadual de Alagoas, Arapiraca-AL, Pós Graduando em Gestão Ambiental, michellescaldoso@hotmail.com

⁵ Universidade Federal de Alagoas, Maceió – AL, Graduando em Geografia, irislisie@hotmail.com

Resumo

Neste trabalho foram determinados três índices padronizados, para o período de 1900 a 2008, tendo como objetivo principal, estudar a relação da Oscilação Decadal do Pacífico (ODP), nas suas duas fases, e a sua influência na variabilidade da precipitação na África com ênfase maior nos seus impactos na região do Sahel. Para isso utilizou-se os dados de reanálise do NCEP/NCAR dos campos de precipitação pluviométrica (P), radiação de ondas longas (ROLE) e pressão ao nível do mar (PNM). Empregou-se também a precipitação nas análises de correlação com os três índices, onde essas correlações mostraram para a região estudada, uma relação direta com o Índice Padronizado do Atlântico Sul – IPA, uma relação direta, porém menos significativa com o Índice Padronizado do Golfo da Guiné - IPG, e uma relação inversa com o Índice Padronizado do Índico - IPI, mostrando uma grande associação com o IPA em ambas as fases da ODP. Todavia sabem-se que a correlação não indique em causa-efeito, os resultados obtidos apenas mostraram que a precipitação na região do Sahel esteve relacionada ao IPA.

Palavras-Chaves: TSM, Precipitação e Sahel.

Abstract

In this paper three indices were determined standardized, for the period 1900 to 2008, having as main objective, study the relationship of the Pacific Decadal Oscillation (PDO), in its two phases, and its influence on rainfall variability in Africa with emphasis on their impacts in the Sahel. For this we used the reanalysis data of NCEP / NCAR fields of precipitation (P), long-wave radiation (OLR) and sea level pressure (SLP). It is also used in the precipitation analysis of correlation with the three indexes, where these correlations for this region showed, a direct relationship with the Standardized Index of the South Atlantic - IPA, a direct relationship, but less significant in the Gulf of Standardized Index Guinea - IPG, and an inverse relationship with the Indian Standard Index - IPI, showing a strong association with the IPA in both phases of the PDO. However we know that correlation does not indicate in cause-effect, the results only showed that rainfall in the Sahel region was related to the IPA.

Keywords: SST, rainfall and Sahel.

Introdução

Os oceanos são um dos grandes controladores do clima do planeta, e, certamente, a variabilidade das chuvas no Sahel deve ser influenciada por variações na temperatura superficial do mar. No continente terrestre, é encontrado um “*feedback*” denominado *feedback* biogeofísico, proposto por Charney (1975), sugere que o movimento descendente de ar diminui as chuvas que, por sua vez, reduz a vegetação, e a redução da área vegetada aumenta o albedo superficial, que tende a aumentar a subsidência devido ao resfriamento atmosférico. A interação vegetação-atmosfera pode retardar ou dessincronizar os efeitos da variabilidade interdecadal imposta pela circulação planetária devido a sua resistência em mudar de forma brusca, ou seja, a cobertura vegetal natural mais lentamente que o clima global.

As chuvas ao longo do oeste africano, na região do Sahel, mostram uma tendência multidecadal de secas, bem como uma forte variabilidade interanual. As causas propostas para explicar essa dramática tendência incluem a temperatura da superfície do mar (TSM), variações na mudança do uso da terra e o processo de desertificação. A distribuição da vegetação tende a ser controlada em grande parte pelo clima,



mas as mudanças nas características superficiais podem afetar a atmosfera, alterando a energia e a quantidade de águas disponíveis.

Alguns autores afirmam que a variabilidade da precipitação no Sahel resulta da resposta das monções oceânicas do verão africano, amplificadas pela interação superfície-atmosfera. A recente tendência de secas no semi-árido do Sahel tem sido mais quente do que a média nas baixas latitudes das águas em torno de África, que, por favorecer o estabelecimento de convecção profunda sobre o oceano, enfraquece a convergência continental associada às monções e gera seca generalizada do Senegal a Etiópia. A grave seca que afetou o Sahel por mais de vinte anos demonstrou claramente, a fragilidade dos equilíbrios ecológicos e humanos nesta parte da África. O déficit de precipitação acumulado nos últimos anos é, em grande parte, responsáveis pela presente desertificação da região e pelas crescentes dificuldades de sobrevivência enfrentadas por seus habitantes. A variabilidade temporal afeta o tempo de início da estação chuvosa, a duração do período vegetativo, e os intervalos entre as chuvas e eventos. Durante um evento chuvoso, as flutuações de intensidade regulam a quantidade de água que pode ser precipitada e retida no solo e, portanto, ser utilizada pela vegetação. A principal característica da variabilidade espacial do Sahel é o clima, o principal responsável pela variabilidade espacial das paisagens do Sahel. (LEROUX, 1983).

Durante uma dada época chuvosa, os mapas de isoietas são muito menos regulares. Apesar dos resultados de alguns estudos, usando uma abordagem geoestatística (THAUVIN & LEBEL, 1991, p. 251) ou método fractal (HUBERT & CARBONNEL, 1989, p. 349), não existe atualmente qualquer método operacional satisfatório para a modelagem da variabilidade ou mesmo previsão das chuvas no Sahel.

O objetivo deste trabalho foi investigar o papel dos oceanos adjacentes ao continente Africano na variabilidade das chuvas no Sahel, responsável pelo deslocamento norte-sul da borda sul do Deserto do Saara. Para isso, foram elaborados três índices padronizados de TSM, um no Golfo da Guiné, outro no Atlântico Sul e, um terceiro, no Oceano Índico. Esses três índices foram relacionados à Oscilação Decadal do Pacífico na tentativa de entender como o maior oceano da terra pode influenciar os outros remotamente.

Materiais e Métodos

Sahel

O Sahel (do árabe, ل ساحل *sahil*, que significa “costa” ou “fronteira”) é a região da África, situada entre o deserto do Saara e as terras mais férteis na região equatorial do continente, que forma um corredor quase ininterrupto do Atlântico ao Mar Vermelho, numa largura que oscila entre 500 e 700 km.

O Sahel é formado pelo Senegal, Mauritânia, Mali, Burkina Faso, Níger, a parte norte da Nigéria, Chade, Sudão, Etiópia, Eritreia, Djibouti e Somália (Figura 1). Usa-se o termo Sahel para designar os países da África Ocidental, para os quais existe um complexo sistema de estudo da precipitação.



Figura 1: Mapa da localização do Sahel.

O termo Sahel foi criado para designar uma região fitogeográfica, dominada por vegetação de estepes, que recebe uma precipitação entre 150 e 500 mm por ano. Pode, portanto, se pensar que a agricultura no Sahel está condenada ao fracasso. Mas, ao contrário, ela é protegida por um “cinturão verde” constituído por uma flora altamente diversificada, que por não ter sido usada pelo homem a protege dos ventos do Saara.

No entanto, o Sahel tem sido palco de longos períodos de seca que, por exemplo, em 1968-1974, que levou a uma situação de fome aos países da região.

A relativa resposta lenta da vegetação às mudanças atmosféricas age para aumentar a variabilidade da baixa frequência pluviométrica. (Wang e Eltahir 2000).

Dados

Para a realização deste trabalho, foram utilizados os dados de re-análise do Environment Prediction/Nacional Center for Atmospheric Research (NCEP/NCAR), do período de 1948 a 1998, que estão disponíveis no site Earth Reserach Laboratory (ESRL), disposto em grade de espaçamento $2,5^\circ \times 2,5^\circ$, correspondente a uma distância média de aproximadamente 280 x 280 km para campos de PNM, precipitação e ROL.

Foram utilizados dados de TSM dispostos em grade de espaçamento $2,0^\circ \times 2,0^\circ$ relativos ao período de 1900 a 2008 para determinação de três índices padronizados para os seguintes domínios geográficos: 1) Atlântico Sul $27,5^\circ\text{S} - 32,5^\circ\text{S}$ de latitude e $25^\circ\text{W} - 30^\circ\text{W}$ de longitude; 2) Golfo da Guiné, $0^\circ - 5^\circ\text{S}$ de latitude e $0^\circ - 5^\circ\text{E}$ de longitude; 3) o Oceano Índico $10^\circ\text{S} - 15^\circ\text{S}$ de latitude e $52,5^\circ\text{E} - 57,5^\circ\text{E}$ de longitude (Figura 2), dados esses obtidos no site do ESRL/PSD/NOAA.

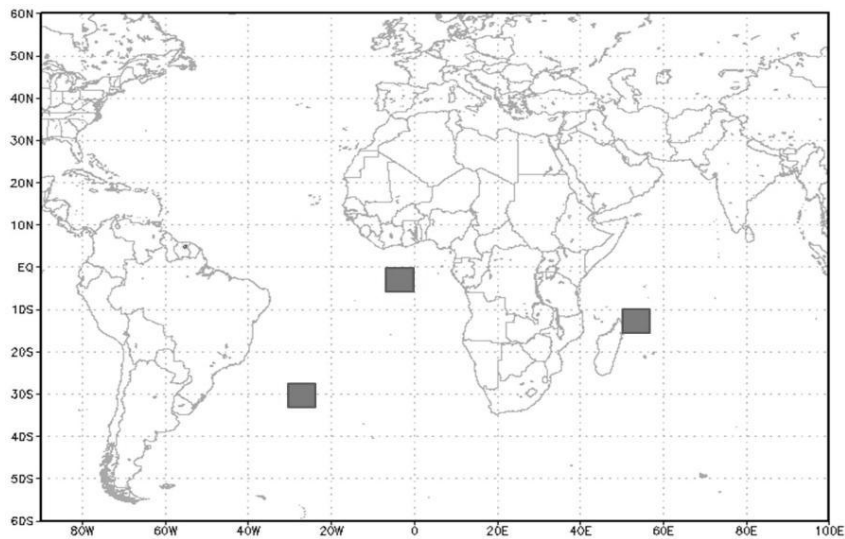


Figura 2: Domínio geográfico utilizado para a criação dos três índices.

Os dados foram tratados através técnica estatística análise exploratória de dados e foram feitas médias anuais e suas respectivas anomalias, para cada fase da ODP, fase fria (1948-1976) e fase quente (1977-1998).

Foi estudada a relação entre os eventos de El Niño/ La Niña e precipitação do Sahel nas duas fases da ODP, a fase fria (1948-1976) e fase quente (1977-1998).

Determinação dos índices padronizados

Foram determinados três índices padronizados, para o período que vai de 1900 a 2008. Para determinar esses índices foi utilizada a formula:

$$IP = \frac{x_{ij} - \bar{x}_j}{S_j}$$

Para o qual: IP é o índice padronizado, x_{ij} é o valor encontrado para um determinado ano (i) /mês(j), \bar{x}_j o valor médio para um dado mês (j) e S_j é desvio padrão para um dado mês (j).

Ou seja, cada índice padronizado é apenas o desvio padronizado de TSM dentro de cada domínio geográfico mencionado anteriormente.

Análise com os dados de reanálise

Os dados de reanálise, utilizados para a elaboração deste trabalho, foram referentes aos campos de Pressão ao Nível do Mar (PNM), precipitação e ROLE. A partir daí, foram calculados os desvios médios das variáveis referentes à fase quente e fria da ODP, com respeito à média do período de 1948 – 1998.

Resultados e discussões

Análise global das variáveis meteorológicas

Nas figuras 3 (a e b), 4 (a e b), 5 (a e b) e 6 (a e b) os campos de desvios referentes às distintas fases da ODP, a Fase Fria (FF) e a Fase Quente (FQ), com relação ao período de estudo 1948 a 1998, para as variáveis TSM, PNM, ROLE, e os Campos de Precipitação (P) respectivamente.



O que se observa de imediato é que todos os campos apresentaram uma relação inversa e simétrica dos desvios entre as fases distintas da ODP, de forma que, regiões que apresentaram valores de desvios positivos (negativos) na FF, na FQ apresentaram valores de desvios negativos (positivos).

Foram observados, nas figuras 3(a) e 3(b), referentes aos desvios de TSM, regiões do Pacífico Norte e do Atlântico Norte, com núcleos de desvio positivo (negativo) em torno de 0,1 a 0,5° C (-0,1 a -0,5° C) durante as fases distintas da ODP. E no Pacífico Equatorial e em parte do Atlântico Sul na FF da ODP, os desvios foram negativos (positivos), em torno de -0,1 a -0,5 °C (0,1 a 0,5 °C), com aparente contraste entre os oceanos nas duas fases.

No Pacífico Sul aparece um núcleo de desvios positivos (negativos) na FF (FQ), localizado em 30° S. O posicionamento desse núcleo nessa latitude deve aumentar o gradiente de temperatura entre essa latitude e os pólos, e intensificar ou aumentar a frequência das frentes frias no continente Sul Americano. Notou-se também, que no Golfo do México encontraram-se águas mais quentes (frias) durante a FF (FQ). Águas mais quente, podem em princípio, interferir na frequência e /ou intensidade de furações no Caribe.

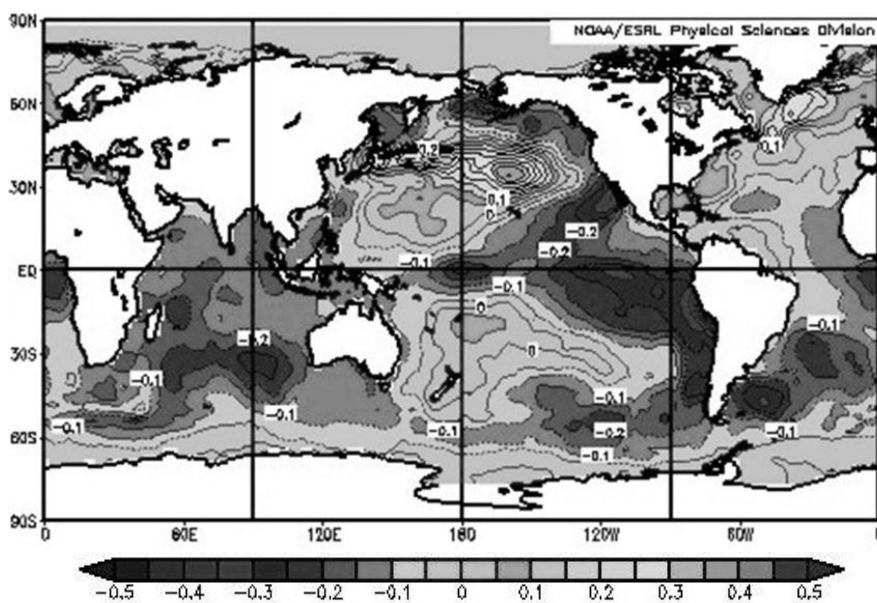


Figura 3(a): Desvios da temperatura da superfície do mar (em °C) na FF da ODP. Fonte: ESRL/PSD/NOAA.

As figuras 3(a) e 3(b) mostram que na região equatorial leste do Pacífico, onde se caracteriza o fenômeno ENOS, que na FF/FQ da ODP ocorreu uma maior frequência de Lã Niñas /El Niños intensos, o que fez com que os desvios de TSM fossem negativos/positivos para essa região.

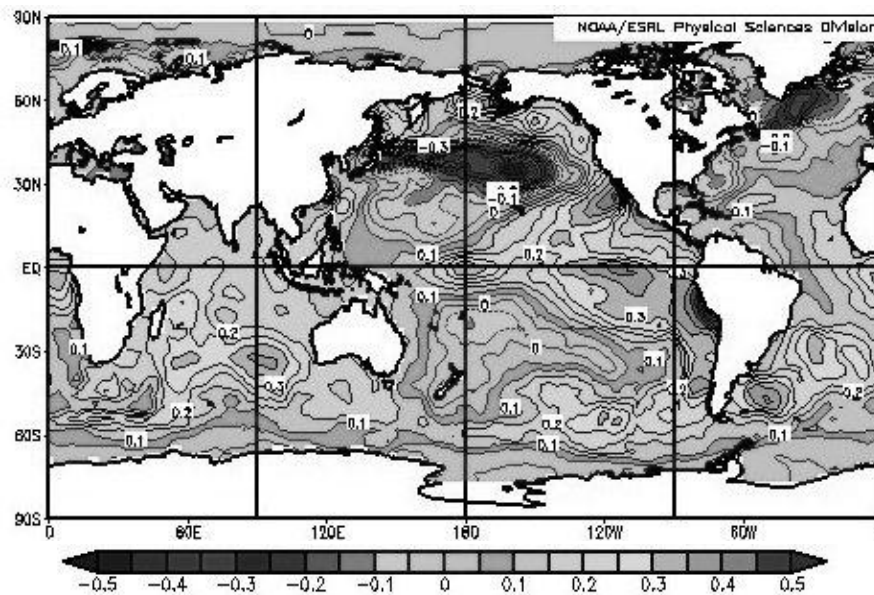


Figura 3(b): Desvio da temperatura da superfície do mar (em °C) na FQ da ODP. Fonte: ESRL/PSD/NOAA.

As figuras 4(a) e 4(b) exibem os desvios de PNM durante as fases distintas da ODP, onde se observou que, na FF temos a PNM sobre os pólos com valores de anomalia acima de 0,4 hPa, significando que, nos pólos, a PNM se mostrou acima da normal climática, o que descreve de forma clara a alta pressão localizada nas regiões polares. Todavia, durante a FQ encontrou-se o contrário, com enfraquecimento nas altas polares, o que ocasionou anomalias abaixo de -0,4 hPa.

Ao analisar o Pacífico Norte, percebe-se um grande núcleo de anomalia positiva de 0,5 a 0,1 hPa na FF e um núcleo de anomalia negativa de -0,5 a -1,5 hPa na FQ da ODP.

De acordo com as análises feitas, houve uma mudança em escala planetária dos campos de pressão atmosférica e também nas anomalias da TSM, com isso as componentes meridionais (Célula de Hadley) e Zonais (Célula de Walker) podem ter se deslocado, causando uma mudança no comportamento das variáveis meteorológicas.

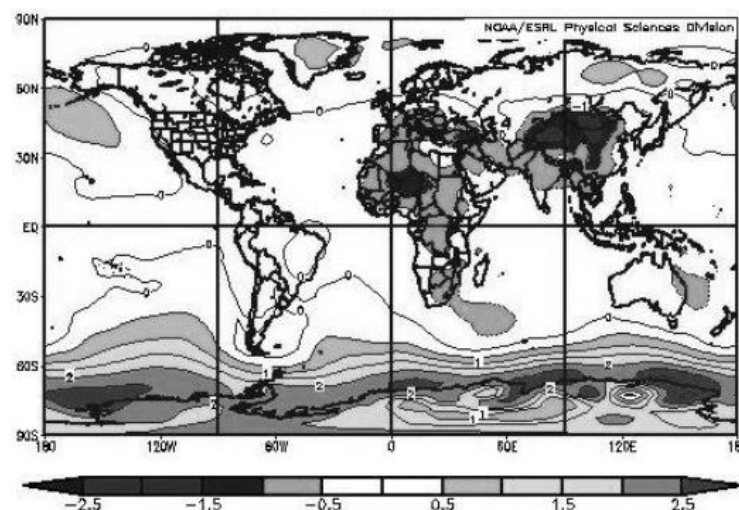


Figura 4 (a): Desvios da pressão ao nível do mar (em hPa) na FF da ODP. Fonte: ESRL/PSD/NOAA.

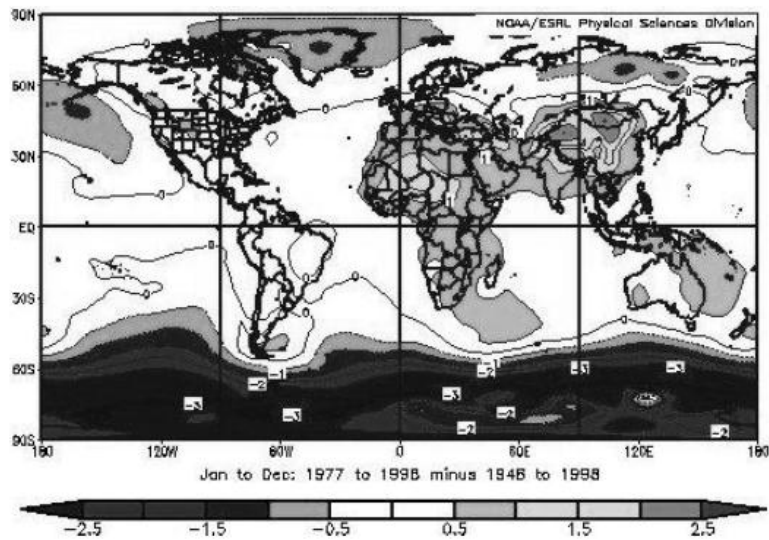


Figura 4 (b): Desvios da pressão ao nível do mar (em hPa) na fase fria da ODP. Fonte: ESRL/PSD/NOAA.

Ao analisar as Figuras 5(a) e (b), referentes a ROLE, notou-se que, na região em que localiza o ramo ascendente do fenômeno ENOS, esse ramo se deslocou mais para o leste da Oceania, ocasionando uma predominância de desvios de ROLE negativo para a FF, com isso caracterizando alta nebulosidade com nuvens de topo frio, em consequência dos fortes movimentos ascendentes. Já na FQ para a mesma região, observaram-se desvios de ROLE positivas, causando a redução na nebulosidade.

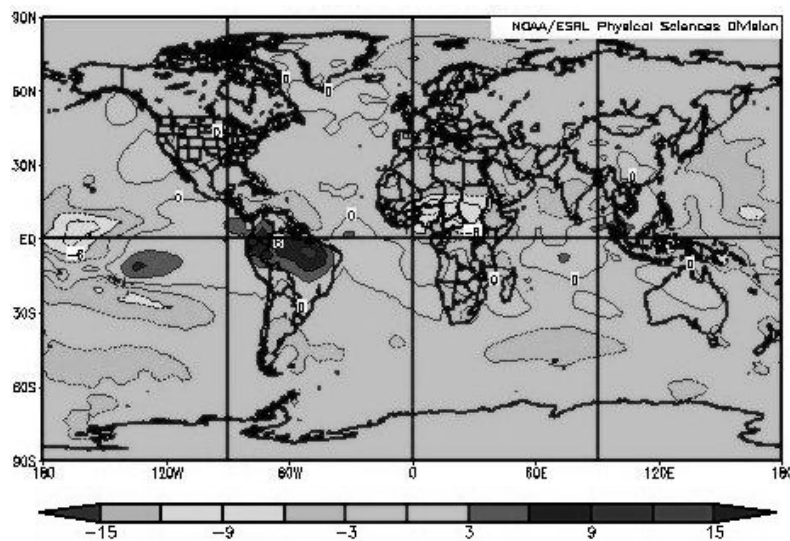


Figura 5(a): Desvios de radiação de onda longa emergente (ROLE) global em $W.m^{-2}$, para a FF da ODP. Fonte dos dados: ESRL/PSD/NOAA.

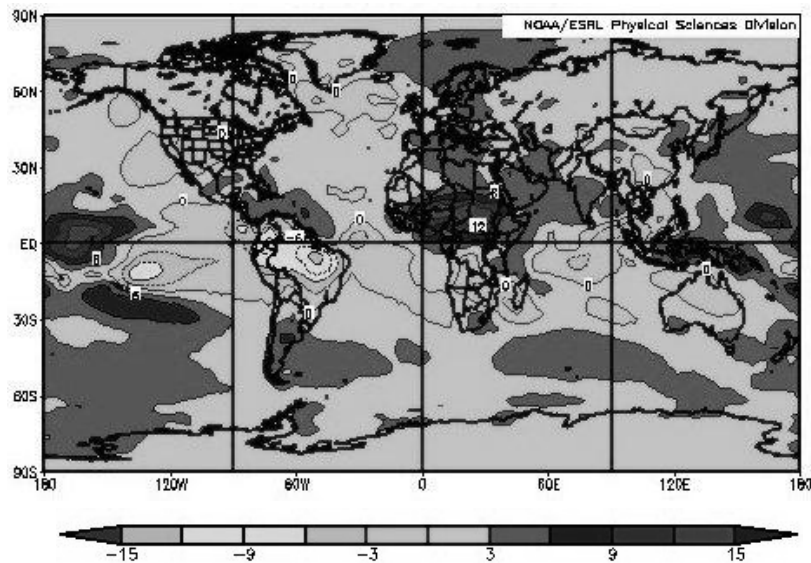


Figura 5(b): Desvios de radiação de onda longa emergente (ROLE) global em $W.m^{-2}$, para a FQ da ODP. Fonte dos dados: ESRL/PSD/NOAA.

Observando os desvios de P, notou-se uma grande variação espaço temporal de precipitação para a região central equatorial do Pacífico. Na FF, notou-se um aumento da P, já na FQ, observou-se a configuração contrária, uma redução simétrica ao o aumento da P na FF.

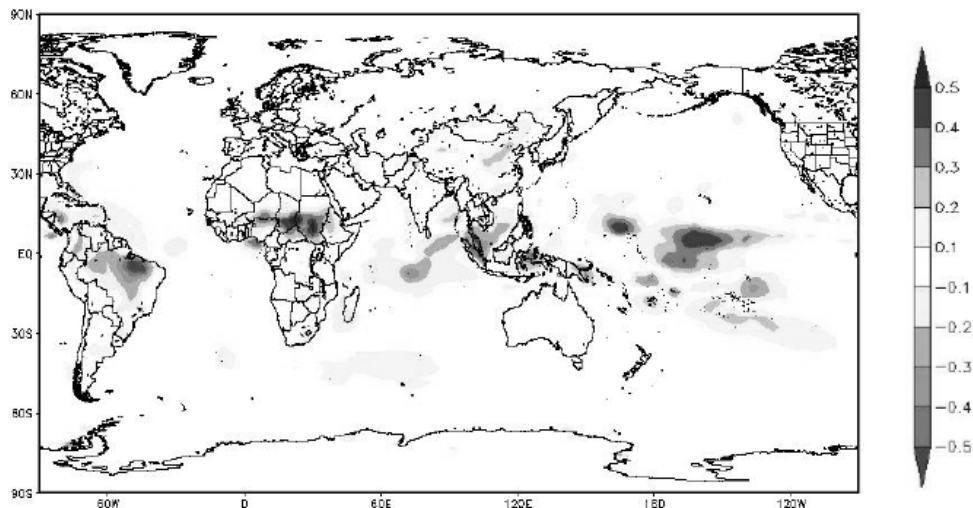


Figura 6(a): Desvios da taxa de precipitação (P) global em mm/dia, para a FF da ODP. Fonte dos dados: ESRL/PSD/NOAA.

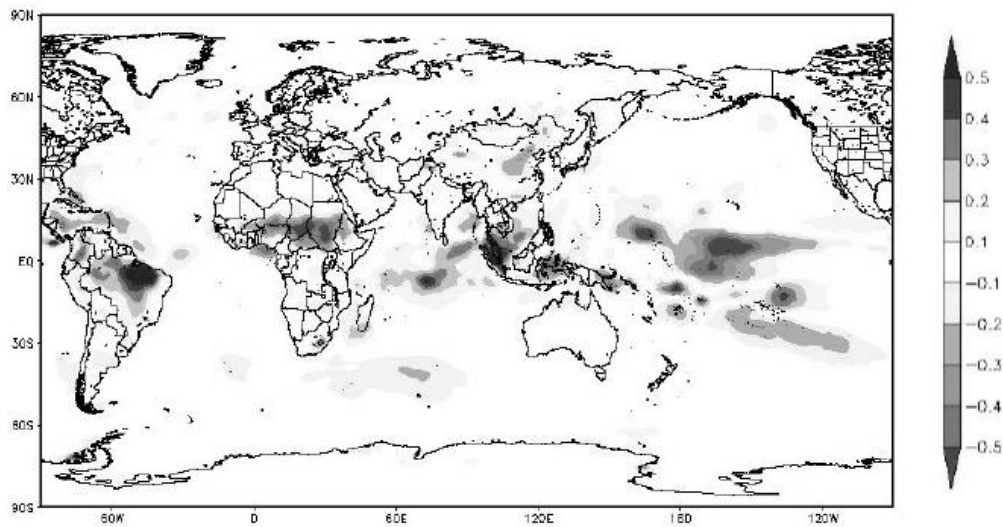


Figura 6(b): Desvios da taxa de precipitação (P) global em mm/dia, para a FQ da ODP. Fonte dos dados: ESRL/PSD/NOAA

Feita a análise de todos esses campos, observou-se, claramente, as mudanças das variáveis meteorológicas no cenário planetário relacionadas com a TSM.

Análise das variáveis meteorológicas sobre o continente africano

Na figura 7(a), tem-se a representação do desvio de pressão ao nível do mar (PNM) para a África durante a FF da ODP. A PNM apresentou desvios negativos (superiores a $-0,5$ hPa) sobre a praticamente todo o Norte da África e em boa parte do Sahel, o que mostrou que a atmosfera em média, apresentou pressão mais baixa na superfície, e isso, geralmente está associado a movimentos ascendentes, tendo como consequência maior convecção e, com isso, formação de nuvens e mais precipitação.

A redução de pressão em conjunto com os demais fatores (Figura 7(a)), podem ter intensificado de forma direta, a convergência do fluxo de umidade durante a fase fria. Já durante a FQ da ODP, ocorreu justamente o oposto de acordo com a Figura 7(b), onde se encontraram desvios positivos entre 0,4 e 0,5 acima do normal sobre todo o norte da África e todo o Sahel.

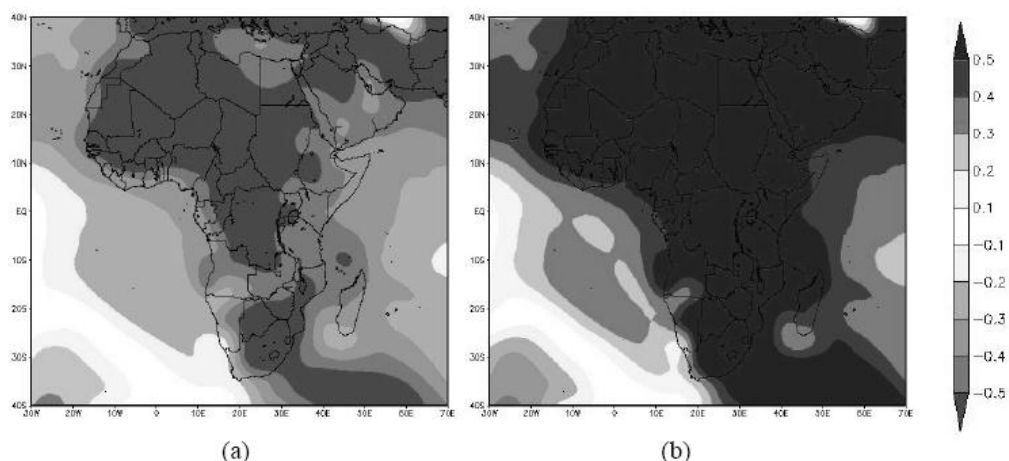


Figura 7: Desvio da pressão ao nível médio do mar (PNM) (hPa) para a fase FF (a) e FQ (b) da ODP. Fonte dos dados: ESRL/PSD/NOAA.

Na Figura 8(a e b), tem-se a representação do desvio de radiação de onda longa (ROLE) para a África para a FF da ODP, onde a ROL apresentou valores negativos para toda a região central da África e



abrangendo praticamente toda a região do Sahel. Isso caracteriza intensificação na convecção, nebulosidade de topo mais elevado, e com isso, um aumento nos totais pluviométricos para a região. Já para a FQ da ODP, apresentou valores positivos para toda a região da África indicando uma menor convecção e menos nebulosidade, com isso diminuindo os totais pluviométricos para a região.

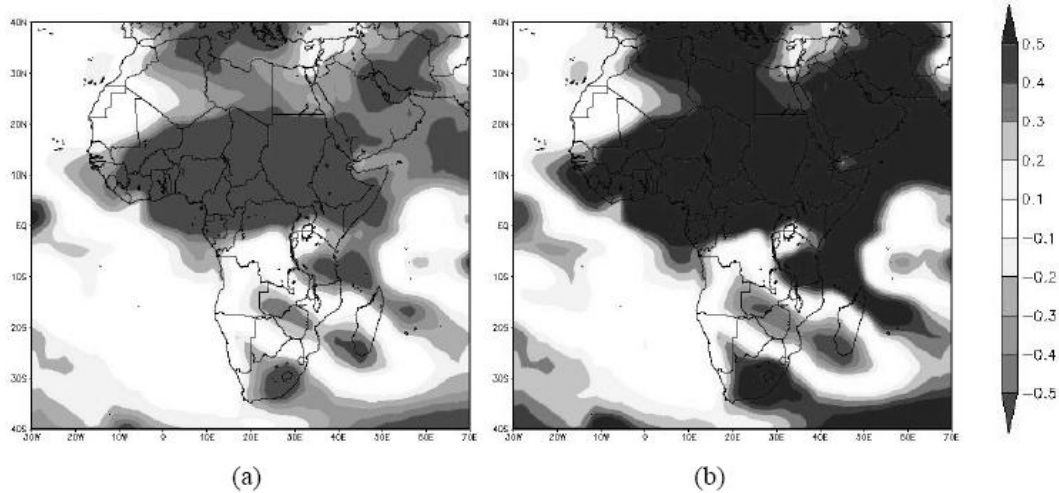


Figura 8: Desvio da Radiação de Onda Longa Emergente (ROLE) (hPa) para a fase FF (a) e FQ (b) da ODP. Fonte dos dados: ESRL/PSD/NOAA.

Índices padronizados

Índice padronizado do Atlântico Sul (IPA)

A Figura 9, mostra a representação da série temporal do Índice Padronizado do Atlântico Sul (IPA), para o período de 1900 a 2008. A linha contínua representa a média móvel de 11 meses, com o objetivo de filtrar o ciclo anual.

Foi possível observar a similaridade dessa série com a série temporal do índice de ODP, onde na sua maior parte, apresentou maior frequência de valores negativos durante a fase fria (48-76) e de valores positivos durante a fase quente (77-98). Todavia, foi observado o surgimento de períodos distintos para algumas mudanças de fase. Por exemplo, foi notado que na série temporal do IPA, para o período da FQ da ODP de 1925 a 1946, apresentou picos negativos bastante significativos, mostrando uma maior variabilidade. Porém, para as duas últimas fases da ODP, o IPA respondeu de forma bastante similar, mostrando picos negativos na FF, e picos positivos na FQ da ODP.

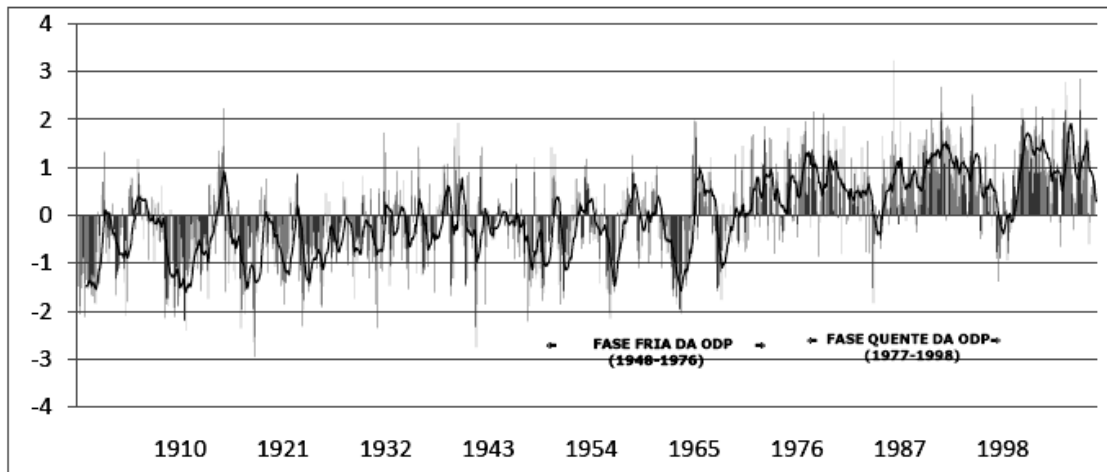


Figura 9. Média mensal do IPA para o período de 1900 a 2008, com média móvel de 11 meses (linha preta).

Índice padronizado do Golfo da Guiné (IPG)

Na Figura 10, foi representada a série temporal do Índice Padronizado do Golfo da Guiné (IPG), que mostrou o padrão de alta variabilidade, para o período de 1900 a 2008. A linha contínua é a média móvel de 11 meses, com o objetivo de filtrar o ciclo anual.

Nesse índice, foi possível observar, certa similaridade com a série temporal do índice de ODP, porém, não com tanta semelhança como o IPA, pois, apresentou maior frequência de valores negativos para o período de 1925 a 1946 (FQ da ODP) dessa forma indicando valores opostos ao índice de ODP. Bem como o IPA, o IPG mostrou picos negativos no período de 1947 a 1976 (FF da ODP), concordando com a ODP. Assim como os índices da ODP, os valores de IPG foram positivos em geral, indicando que as TSMs do Golfo da Guiné estiveram mais elevadas nessa última fase quente da ODP. Esse resultado é no mínimo, curioso, pois se esperava que, com águas mais quentes, tivesse havido maior transporte de umidade para dentro dos continentes, com isso tendo aumento de precipitação. Como este, não aconteceu, é possível que as TSM do Golfo da Guiné não sejam o fator determinante do regime da precipitação do Sahel, como defendido por vários autores (Folland et AL, 1986).

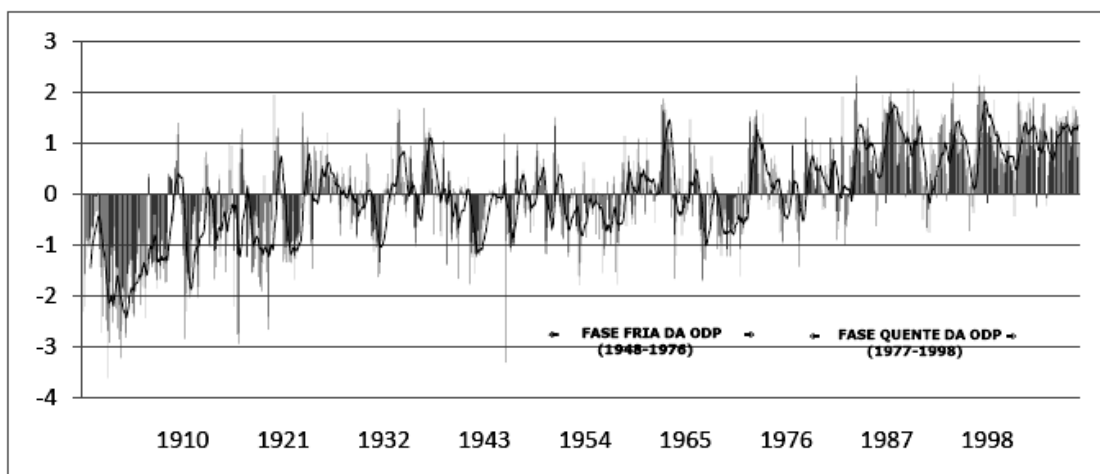


Figura 10. Média mensal do IPG para o período de 1900 a 2008, com média móvel de 11 meses (linha preta).



Índice padronizado do Oceano Índico (IPI)

A figura 11 ilustra a representação da série temporal do Índice Padronizado do Índico (IPI), para o período de 1900 a 2008. A linha contínua representa a média móvel de 11 meses, com o objetivo de filtrar o ciclo anual.

Da mesma forma que os índices anteriores, na figura 11, verificam-se, a similaridade entre a resposta dada pelo IPI e o índice de ODP, quando se relaciona a frequência de picos positivos, com as FQ da ODP e a frequência de picos negativos nas FF da ODP. Observou-se, também, o aparecimento de períodos distintos para algumas fases da ODP. No período de 1925 a 1946 (FF da ODP), o IPI apresentou picos negativos com bastante intensidade, se comparados com o Índice de ODP para o mesmo período. E, para a FQ da ODP, período de 1977 a 1998, o IPI respondeu de forma muito parecida com o índice de ODP, mostrando uma grande frequência de picos positivos. Aparentemente não apresentou os picos negativos para os anos de 1986 e 2000.

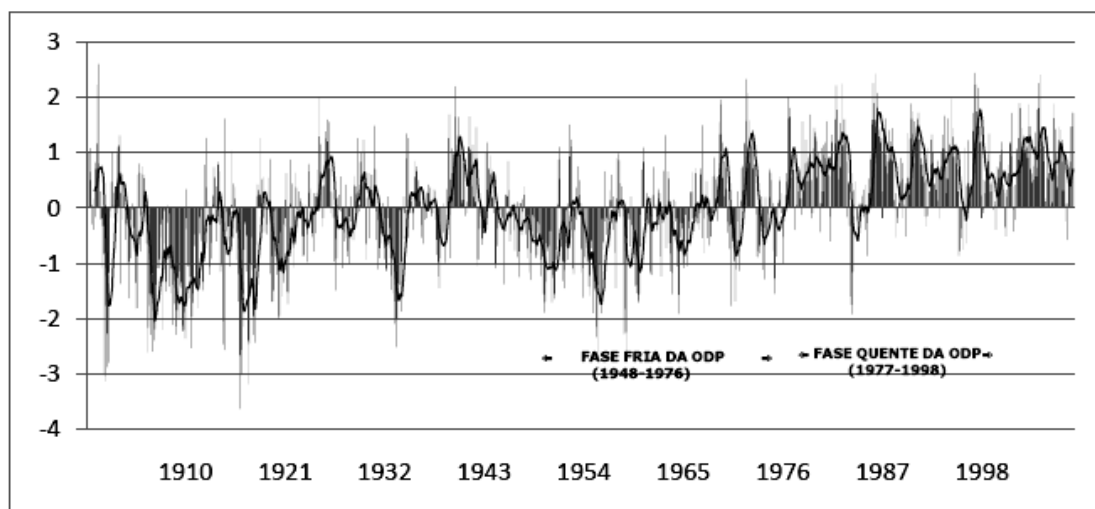


Figura 11. Média mensal do IPI para o período de 1900 a 2008, com média móvel de 11 meses (linha preta).

Relação entre os índices e a precipitação no continente africano

Relação entre a precipitação pluviométrica e o IPA

As figuras 12 (a) e (b) são referentes à correlação entre a taxa de precipitação e o IPA, sendo que quando os coeficientes forem positivos (negativos) para a FF da ODP, significam dizer que, os totais pluviométricos foram baixos (altos), ou seja, correlação inversa (direta). Quando os coeficientes forem positivos (negativos) para a FQ da ODP, significa dizer que, os totais pluviométricos foram altos (baixos), ou seja, correlação direta (inversa).

A correlação direta da precipitação com o IPA apresentou, na FF da ODP (Figura 12 (a)), coeficientes negativos para as regiões: do Sudão, Chade, Etiópia, Quênia e parte da Tanzânia de até -0,5, mostrando, para essas regiões, significância estatística superior a 95%, o que significa dizer que, quando o IPA foi negativo para a FF da ODP, os totais pluviométricos foram intensos nessas áreas. Já, para as regiões da Guiné, Serra Leoa, Costa do Marfim, sul da Nigéria e boa parte do Sul da África, verificaram-se coeficientes positivos entre 0,3 e 0,4, com uma significância estatística superior a 95%. Isso significa dizer que, quando o IPA foi negativo, para a FF da ODP, os totais pluviométricos foram mais baixos. Portanto, quando a temperatura do Oceano Atlântico para o domínio geográfico estudado (Figura 2) diminuiu, temos que houve aumento na precipitação para a região do Sahel.

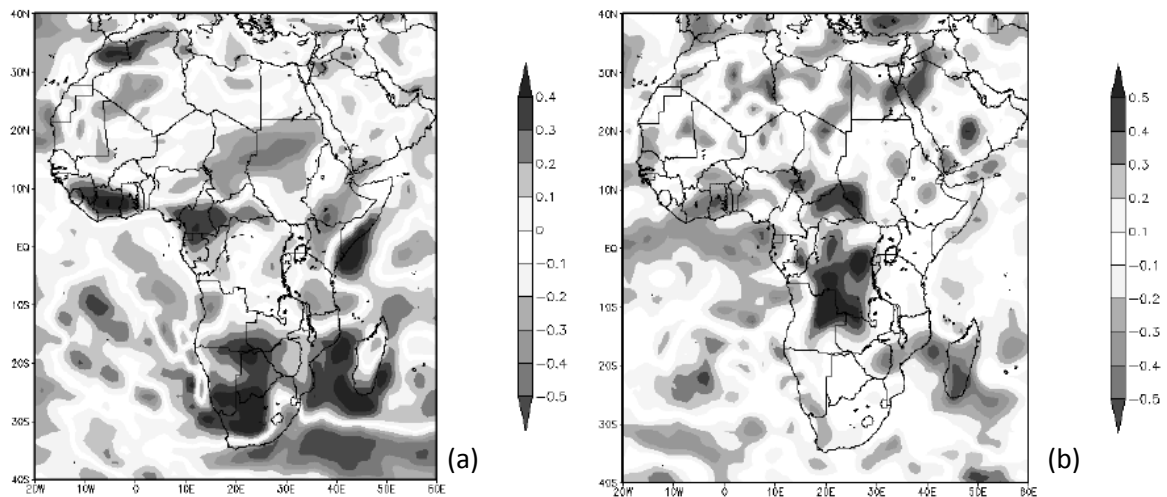


Figura 12(a e b): Coeficientes de correlação entre a precipitação observada e o IPA para a FF/FQ da ODP. Fonte dos dados: ESRL/PSD/NOAA.

Na Figura 12(b), a correlação direta da precipitação pluviométrica com o IPA para a FQ da ODP, onde apresentou coeficientes negativos para as regiões de Gana, Senegal, Costa do Marfim, Guiné Bissau, Serra Leoa e parte da Nigéria entre -0,4 e -0,5, mostrando, para essas regiões uma significância estatística superior a 95%. Isso significa dizer que, quando o IPA foi positivo para a FQ da ODP, os totais pluviométricos foram reduzidos nessas áreas. Entretanto, para as regiões da Republica Centro-Africana, Congo, Republica do Congo e o nordeste da Angola, encontraram-se coeficientes positivos entre 0,3 e 0,4, o que mostra uma significância estatística superior a 95%, o que significa dizer que, quando o IPA for positivo para a FQ da ODP, os totais pluviométricos foram altos. Portanto, quando a temperatura do Oceano Atlântico para o limite geográfico estudado (Figura 2) aumentou, houve redução na precipitação para o oeste da região do Sahel, enquanto a precipitação aumentou no centro e no sudoeste.

Relação entre a precipitação pluviométrica e o IPG

As figuras 13(a) e (b) são referentes à correlação entre a taxa de precipitação e o IPG, sendo que quando os coeficientes forem positivos (negativos) para a FF da ODP, significam dizer que, os totais pluviométricos foram baixos (altos), ou seja, correlação inversa (direta). Quando os coeficientes forem positivos (negativos) para a FQ da ODP, significa dizer que, os totais pluviométricos foram altos (baixos), ou seja, correlação direta (inversa).

A Figura 13(a) mostra correlação direta da precipitação com o IPG para FF da ODP. Essa correlação apresentou coeficientes negativos para as regiões da Namíbia, Angola, Congo, Gabão, Republica Centro-Africana, Republica do Congo e Tanzânia de -0,1a -0,2. Quando o IPG foi negativo para a FF da ODP, os totais pluviométricos foram maiores nessas áreas. Porém, essas regiões apresentaram significância estatística inferior a 90%. Já, para as regiões do Níger, Chade, Líbia, e o sul do Moçambique, encontraram-se coeficientes positivos entre 0,2 e 0,3, com significância estatística inferior a 90%, o que significa dizer que, quando o IPG foi negativo para a FF da ODP, os totais pluviométricos foram baixos. Portanto, a correlação entre o IPG e a precipitação pluviométrica para a FF da ODP não apresentou uma relação significativa com as chuvas na região do Sahel. Na maior parte do Sahel, com exceção da costa oeste, o IPG foi positivo indicando os totais pluviométricos foram mais elevados quando as TSM estiveram positivas na FF. Isso está de acordo com o esperado, ou seja, TSM mais elevada propiciariam um maior fluxo de umidade e maiores totais pluviométricos.

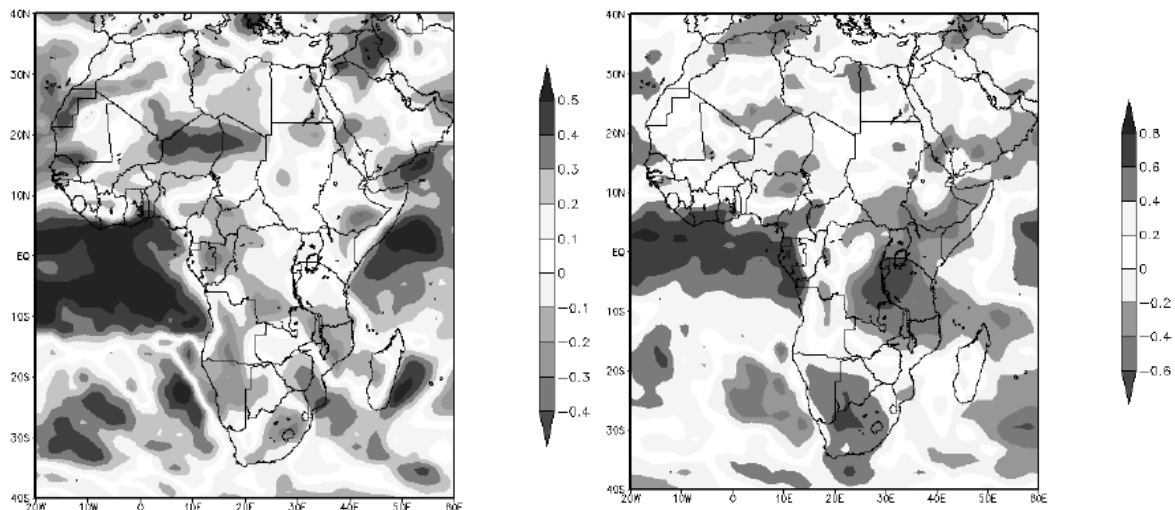


Figura 13(a eb): Coeficientes de correlação entre a precipitação observada (UDEL) e o IPG para a FF/FQ da ODP. Fonte dos dados: ESRL/PSD/NOAA.

Na Figura 13(b), a correlação direta entre o IPG e a precipitação pluviométrica para a FQ da ODP, apresentou coeficientes negativos para a região da Tanzânia, Quênia, norte do Moçambique e o sul da Etiópia e Sudão entre -0,4 e -0,6 mostrando uma significância estatística superior a 95%. Isso significa dizer que, quando o IPG foi positivo para FF da ODP, os totais pluviométricos foram baixos nessas regiões. Entretanto, para as regiões do sul da Costa do Marfim, sul de Gana e o extremo sul da África, coeficientes pluviométricos entre 0,4 e 0,6 com uma significância estatística superior a 95%, ou seja, quando o IPG foi positivo para a FQ da ODP, os totais pluviométricos foram mais elevados. Nota-se, porém, que as regiões centro e oeste do Sahel apresentaram coeficientes de correlação negativos entre -0,2 e -0,6. Ou seja, águas quentes no Golfo da Guiné, em média, não produziram totais pluviométricos mais elevados nessas regiões do Sahel como era de se esperar. A correlação direta entre o IPG e a precipitação pluviométrica para as FF e FQ da ODP, não apresentou uma relação significativa com as chuvas para o Sahel como um todo, sugerindo que as TSM do Golfo da Guiné não sejam o único fator determinante da precipitação.

Relação entre a precipitação pluviométrica e o IPI

As figuras 14 (a) e (b) são referentes à correlação entre a taxa de precipitação e o IPI, sendo que quando os coeficientes forem positivos (negativos) para a FF da ODP, significam dizer que, os totais pluviométricos foram baixos (altos), ou seja, correlação inversa (direta). Quando os coeficientes forem positivos (negativos) para a FQ da ODP, significa dizer que, os totais pluviométricos foram altos (baixos), ou seja, correlação direta (inversa).

A figura 14 (a) ilustra a correlação direta da precipitação com o IPI para FF da ODP. Os coeficientes negativos para praticamente toda a região do deserto do Sahara entre -0,1a -0,2, indicam que, quando o IPI foi negativo para a FF da ODP, os totais pluviométricos se mostraram mais elevados nessas áreas. Todavia, mostrou-se que essas regiões apresentaram significância estatística inferior a 90%, o que sugere que as TSM do Oceano Índico não estão relacionadas às chuvas da maior parte do Sahel. Já, para as regiões da Guiné, Serra Leoa e o Sul de Gana, encontraram-se coeficientes positivos entre 0,3 e 0,4, caracterizando assim uma correlação, onde se teve uma significância estatística superior a 95%. Isso significa dizer que, quando o IPI foi negativo para a FF da ODP, os totais pluviométricos nessas regiões foram baixos. Dessa forma, a correlação feita entre o IPI e a precipitação pluviométrica para a FF da ODP não apresentou, de maneira geral, uma relação significativa com as chuvas na região do Sahel.

Na Figura 14(b), verifica-se a correlação direta entre o IPI e a precipitação pluviométrica para a FQ da ODP. Esta apresentou uma correlação inversa, com coeficientes negativos para a região da Argélia, Tunísia e parte do Norte da Líbia entre -0,2 e -0,4 com uma significância estatística inferior a 90%.



Entretanto, para praticamente toda a região do Sahel e parte Sul da África, os coeficientes de correlação foram positivos, com significância estatística abaixo de 90%. Ou seja, quando o IPI foi positivo para a FQ da ODP, os totais pluviométricos foram mais elevados nessas regiões se comparados com as demais regiões da África. Portanto, a correlação direta feita entre o IPGG e a precipitação pluviométrica para as FF e FQ da ODP, não apresentou uma relação significativa com as chuvas da região em estudo. Aparentemente, não há uma relação física entre as TSM dessa região do Índico com as chuvas do Sahel.

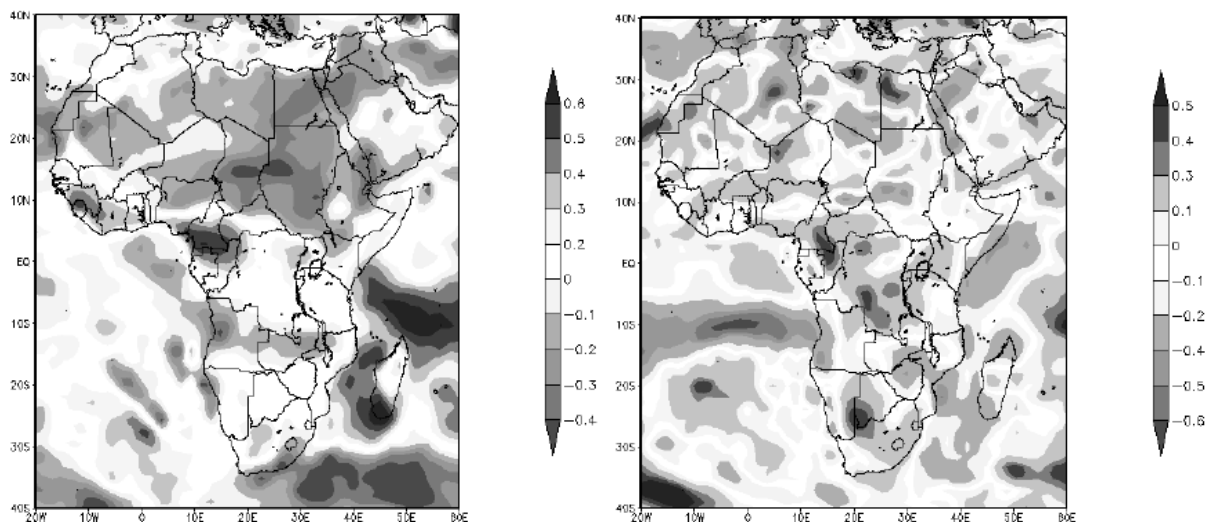


Figura 14(a e b): Coeficientes de correlação entre a precipitação observada (UDEP) e o IPI para a FF/FQ da ODP. Fonte dos dados: ESRL/PSD/NOAA.

Conclusões

De acordo com os resultados das análises, notou-se que, dos três índices, o que apresentou maior coerência com índice de ODP, representando de forma bastante expressiva as variações interdecadais, foi o IPA. Ao analisar os coeficientes de correlação da precipitação com os índices, notou-se uma relação direta com as fases da ODP, sendo que o IPA foi o que apresentou melhor correlação. Com as correlações feitas para a região do Sahel, com os três índices (IPA, IPG e IPI), o índice que apresentou maiores módulos de coeficiente de correlação foi o IPA em ambas as fases da ODP;

Esses resultados mostraram que a variação da TSM do Oceano Atlântico possui uma relação com precipitação das regiões da África e em especial a região do Sahel, que apresentou significância estatística superior a 90%. Sabe-se que coeficientes de correlação de módulos altos não necessariamente significam uma relação de causa-efeito entre as duas variáveis. Ou seja, embora tenha existido uma boa correlação entre o IPA e as chuvas do Sahel, isso significa que o IPA é apenas um bom indicador e que, provavelmente responde à mesma forçante física que as chuvas do Sahel. Essa forçante pode ser a intensidade dos ventos, decorrente do posicionamento do centro do anticiclone do Atlântico Sul (AS). Na FF, os coeficientes de correlação foram negativos, em média, quase em todo Sahel, com exceção da região costeira. Na fase quente da ODP ocorre o inverso.

Com isso, concordando com o que Oliveira et al (2005), que o centro do anticiclone do AS se desloca para latitudes mais baixas na FF, intensifica o gradiente de pressão e os Alísios de Sudeste se tornam mais fortes. Isso faz com que a convergência do fluxo de umidade aumente e produza mais chuva no Sahel, fazendo a borda sul do Saara retroceder. Ao mesmo tempo Alísios mais intensos transportam águas mais frias para o Atlântico Sul.

Referências bibliográficas



- CHARNEY JG (1975) **Dynamics of deserts and drought in the Sahel**. Q. J. R. Meteorol. Soc. 101: 193–202.
- FOLLAND, C. K., T. N. PALMER, AND D. E. PARKER, **Sahel rainfall and world-wide sea temperatures**, Nature, 320, 602-607, 1986.
- HUBERT P., CARBONNEL J.P., CHAOUCHE A. (1989) **Segmentation des séries hydrométéorologiques. Application à des séries de précipitations et de débits de l'Afrique de l'Ouest**, Journal of Hydrology, Amsterdam, 110, pp 349-367.
- LEROUX, (1983). *Le climat de l'Afrique tropicale*. T1 : 636 pp., T2 : notice et atlas de 250 cartes. Ed. Champion-Slatkine, Paris-Genève.
- OLIVEIRA, C. P.; MOLION, L. C. B.; BERNARDO, S. O. . **Deslocamento Médio dos Centros das Altas Subtropicais composição: El Niño, La Niña e ZCAS**. In: sic, 2005, Fortaleza. Simpósio Internacional de Climatologia, 2005.
- THAUVIN, V. & LEBEL, T. (1991) EPSAT-NIGER. **Study of rainfall over the Sahel at small time steps using a dense network of recording rain gauges**. Hydrol. Processes 5, 251-260.
- WANG GL, ELTAHIR EAB (2000) **Biosphere-atmosphere interactions over West Africa. Part 2: Multiple climate equilibrium**. Q J R Meteorology. Soc 126: 1261–1280.
- WANG GL, ELTAHIR EAB (2000) **The role of ecosystem dynamics in enhancing the low frequency variability of the Sahel rainfall**. Water Resources Res 36: 1013–1021.