UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
FACULDADE DE METEOROLOGIA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

MAURÍCIO DO NASCIMENTO MOURA

VARIABILIDADE ATMOSFÉRICA TEMPO-ESPAÇO DA ZONA DE CONVERGÊNCIA INTERTROPICAL: UMA ANÁLISE GLOBAL

280

BELÉM – PARÁ
JULHO – 2010

MAURÍCIO DO NASCIMENTO MOURA

VARIABILIDADE ATMOSFÉRICA TEMPO-ESPAÇO DA ZONA DE CONVERGÊNCIA INTERTROPICAL: UMA ANÁLISE GLOBAL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Faculdade de Meteorologia do Instituto de Geociências (IG) da Universidade Federal do Pará (UFPA), como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Meteorologia.

BELÉM – PARÁ

JULHO – 2010

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Biblioteca Geólogo Raimundo Montenegro Garcia de Montalvão

M929v Moura, Maurício do Nascimento
Variabilidade atmosférica tempo-espaço da zona de convergência intertropical: uma análise global / Maurício do Nascimento Moura; Orientador: Maria Isabel Vitorino – 2010
45 f. : il.
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Meteorologia) – Faculdade de Meteorologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, Terceiro Período de 2010.

1 Climatologia. 2. Zona de Convergência. 3. Quênia. 4. Indonésia. I. Universidade Federal do Pará. II. Vitorino, Maria Isabel, *orient*. III. Título.

CDD 20º ed.: 551.6

MAURÍCIO DO NASCIMENTO MOURA

VARIABILIDADE ATMOSFÉRICA TEMPO-ESPAÇO DA ZONA DE CONVERGÊNCIA INTERTROPICAL: UMA ANÁLISE GLOBAL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Faculdade de Meteorologia do Instituto de Geociências (IG) da Universidade Federal do Pará (UFPA), como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Meteorologia.

Aprovado em ____/____/____.

Banca examinadora:

_____

Profª Maria Isabel Vitorino – Orientador
Doutora em Meteorologia
Universidade Federal do Pará

_____

Prof. Everaldo Barreiros de Souza – Membro
Doutor em Meteorologia
Universidade Federal do Pará

_____

Prof. Antônio Carlos Lôla da Costa – Membro
Doutor em Engenharia Ambiental
Universidade Federal do Pará

_____

Prof. Paulo Sousa de Sousa – Diretor da Faculdade
Mestre em Meteorologia
Universidade Federal do Pará

“A você, mulher guerreira que me acompanhou desde os primeiros passos...
Você que me ensinou as primeiras palavras...
Você que me alimentou com o alimento do seu corpo...
Você que enxugou minhas lágrimas e recebeu meus sorrisos...
Você que me transformou em uma pessoa melhor e me entregou para o mundo...
A você, Maria de Fátima...
Minha mãe...”

AGRADECIMENTOS

A gratidão é um dos maiores dons da vida. Ser grato não é, simplesmente, dizer obrigado é retribuir com gestos e atitudes que engrandecem o ser humano. É desta forma que dou início aos meus agradecimentos.

Agradeço a Deus pela vida, pela saúde e por ter sua graça presente em meu ser até o exato momento.

A meus pais, Raimundo Nonato e Maria de Fátima por terem me colocado no mundo e terem me ajudado nessa batalha.

A todos os meus irmãos em Cristo Jesus, em especial, Davi, Elisa, Élen, Fernando, Gabriel, Leandro, Matheus, Natan, Nazaré, Neto, Raphael, Rita, Sidney, Tiago, entre outros, por terem sempre me apresentado em suas orações, fortalecendo ainda mais esse laço tão forte que existe em nossas vidas.

Agradeço a toda minha família, avós, tios e primos, que são minha base sólida na terra, pois sempre acreditaram no meu potencial e esperaram minhas vitórias com grande alegria e segurança.

A professora e orientadora Isabel Vitorino pela atenção nas disciplinas: Meteorologia Dinâmica I, Meteorologia Sinótica II e Análise e Previsão do Tempo. Principalmente, por ter me ensinado a ter uma visão mais ampla e profissional dentro da meteorologia. Tenho certeza que esse aprendizado e parceria não terminam por aqui, pois tudo isso é apenas o começo de uma longa, árdua e prazerosa batalha.

Aos membros da banca examinadora deste trabalho de Conclusão de Curso pelas valiosas sugestões.

Ao corpo docente da faculdade de meteorologia da Universidade Federal do Pará por todos os momentos de aprendizado, de desafios e de conquistas nesses quatro anos de curso.

Agradeço a meus amigos Adriano, Andréia, Deborah, Fabrício, Franccesco, Luciano, Pedro, Sirlene, Victor, entre outros, pela sempre amizade e apoio nesse momento de conclusão.

A Rede Estadual de Previsão Climática e Hidrometeorológica do Pará (RPCH) e o Laboratório do RPCH na pessoa do professor Everaldo Barreiros de Souza pela utilização dos mesmos para pesquisa e desenvolvimento deste trabalho.

A biblioteca Geólogo Raimundo Montenegro Garcia de Montalvão, do Instituto de Geociências da UFPA, pelo auxílio nas correções ortográficas e normas da ABNT.

Aos meus colegas do laboratório RPCH, Daniela e Gleyciano pelo apoio e pelos momentos de descontração.

Ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), juntamente com a meteorologista Aylci Nazaré pelo fornecimento dos dados de várias variáveis para a cidade de Belém.

Agradeço ao Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), em conjunto com o Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE), pela atenção e generosidade de fornecer os dados meteorológicos internacionais de Nairóbi no Quênia; e Jakarta, na Indonésia.

Agradeço a União Nacional dos Estudantes de Meteorologia (UNEMET) pelo apoio incondicional, me esclarecendo dúvidas, abastecendo-me de informações de grande relevância não só para este trabalho, mas também para minha formação acadêmica. A UNIMET mostra assim, o respeito e o prestígio pela classe acadêmica em todo o Brasil.

A empresa Multianálises pela paciência e colaboração nos momentos de maior dificuldade, pois essa generosidade foi chave fundamental para minha formação.

Enfim, a todos um grande abraço e a minha eterna gratidão.

“Quem sabe, pode muito ...

Quem ama, pode mais ...”

Chico Xavier.

RESUMO

Visa apresentar uma análise atmosférica global da variabilidade espacial e temporal da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) nas cidades de Belém, Jakarta e Nairóbi, que estão localizadas sobre os continentes da América do Sul, Ásia e África, respectivamente. Para isso, foram utilizados dados horários e diários de precipitação e magnitude do vento para o período de 1999 a 2008, aplicados a técnicas estatísticas, como a média aritmética e a transformada em ondeletas, a fim de identificar as diferentes variações tempo-escala associada à atuação da ZCIT. A distribuição espacial e temporal da chuva em Belém, Jakarta e Nairóbi varia consideravelmente, principalmente durante os primeiros meses de Janeiro a Maio, período de maior atuação da ZCIT no hemisfério sul. As variações atmosféricas observadas podem estar relacionadas com a influência dos mecanismos oceano-atmosfera dos fenômenos El Niño Oscilação Sul (ENOS) e intrasazonal sobre as áreas de estudo. Neste sentido, observou-se que durante a La Niña, Belém e Jakarta mostra precipitação mais acentuada, diferente de Nairobi que apresenta redução da chuva. Enquanto que, durante os episódios de El Niño percebe-se a redução das chuvas. A influência de fenômenos oceano-atmosféricos, de escala interanual e intrasazonal na distribuição da chuva nessas regiões é evidente durante o período estudado, sendo que Nairóbi, apesar de está localizada em latitude análoga a Belém, não apresenta ciclo anual. No entanto, as oscilações de escalas anual e interanual parecem determinar a precipitação local. Com relação às oscilações de múltiplas escalas de precipitação, Belém e Jakarta apresentam semelhantes escalas dos mecanismos moduladores da chuva local, inclusive o ciclo anual marcado, durante todo o período. Há uma concordância com estudos anteriores, com relação a presença da oscilação intrasazonal (Madden e Julian) em anos de La Niña e ausência da mesma em anos de El Nino.

Palavras-Chave: Climatologia. Zona de convergência. Quênia. Indonésia.

ABSTRACT

Presents an analysis of global atmospheric spatial and temporal variability of the Intertropical Convergence Zone (ITCZ) in Belem, Jakarta and Nairobi, which are located on the continents of South America, Asia and Africa, respectively. For this, we used data hourly and daily rainfall, and magnitude of the wind for the period 1999 to 2008, applied statistical techniques, such as arithmetic and wavelet transforms in order to identify the different time-scale variations associated with performance of the ITCZ. The spatial and temporal distribution of rainfall in Belem, Jakarta and Nairobi varies considerably, especially during the early months of January to May period of increased activity of the ITCZ in the southern hemisphere. The atmospheric changes observed may be related to the influence of the mechanisms of ocean-atmosphere El Niño Southern Oscillation (ENSO) and intraseasonal on the study areas. In this sense, it was observed that during La Niña, Bethlehem and Jakarta precipitation shows more pronounced, unlike Nairobi that has diminished the rain. While, during episodes of El Niño perceives the decline in rainfall. The influence of ocean-atmospheric phenomena, scale interannual and intraseasonal distribution of rainfall in these regions is evident during the study period, and Nairobi, in spite of being located at latitude similar to Bethlehem, has no annual cycle. However, the fluctuations in annual and interannual scales seem to determine the local precipitation. With respect to the oscillations of multiple scales of precipitation, Belem and Jakarta have similar scales of the mechanisms that modulate the local rainfall, including the annual cycle marked during the entire period. There is agreement with previous studies, regarding the presence of the intraseasonal oscillation (Madden and Julian) years with La Nina and the absence of it on El Nino years.

Keywords: Climatology. Convergence zone. Quenia. Indonésia

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1: Estrutura mensal da ZCIT. As áreas escuras representam maior convecção 17
FIGURA 2: Localização das cidades de Belém no América do Sul, Nairóbi no continente africano e Jakarta na Ásia (locais em círculo vermelho)..... 19
FIGURA 3: Variação tempo-espaço da precipitação anual acumulada em Belém, Jakarta e Nairóbi, durante 1999 a 2008..... 22
FIGURA 4: Variação tempo-espaço da velocidade média anual do vento horizontal em Belém, Jakarta e Nairóbi, durante 1999 a 2008..... 27
FIGURA 5: Variação temporal da precipitação sazonal para Belém, durante 1999 a 2008..... 28
FIGURA 6: Variação temporal da precipitação sazonal para Belém, durante 1999 a 2008..... 29
FIGURA 7 Variação temporal da precipitação sazonal para Jakarta, durante 1999 a 2008..... 30
FIGURA 8: Variação temporal da precipitação sazonal para Nairóbi, durante 1999 a 2008..... 30
FIGURA 9: Variação sazonal da velocidade do vento para Belém, de 1999 a 2008..... 31
FIGURA 10: Variação sazonal velocidade do vento para Jakarta, de 1999 a 2008.....32
FIGURA 11: Variação sazonal da velocidade do vento para Nairóbi, de 1999 a 2008..... 32
FIGURA 12: Variação tempo-espaço da precipitação mensal para Belém, Nairóbi e Jakarta, de 1999 a 2008..... 34
FIGURA 13: Variação tempo-espaço da velocidade do vento horizontal mensal para Belém, Nairóbi e Jakarta..... 36
FIGURA 14: Estrutura tempo-escala da precipitação mensal para Belém-Brasil, de 1999 a 2008.. 38
FIGURA 15: Estrutura tempo-escala da precipitação mensal para Nairóbi-Quênia, de 1999 a 2008 39
FIGURA 16: Estrutura tempo-escala da precipitação mensal para Jakarta-Indonésia, de 1999 a 2008.....

LISTA DE ABREVEATURAS E SIGLAS

DA – Dipolo do Atlântico

EN – El Niño

ENOS – El Niño Oscilação Sul

HN – Hemisfério Norte

HS – Hemisfério Sul

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

LN – La Niña

OMJ – Oscilação Madden-Julian

PRP – Precipitação

ROL – Radiação de Onda Longa

TSM – Temperatura da Superfície do Mar

TO – Transformada em Ondeletas

Vh – Vento Horizontal em Superfície

ZCA – Zona de Confluência dos Alísios

ZCIT – Zona de Convergência Intertropical

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 14

1.1 OBJETIVO GERAL ---------- 15

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS ---------- 15

1.3 JUSTIFICATIVA ---------- 15

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 16

2.1 FATORES FÍSICOS E METEOROLÓGICOS DETERMINANTES DA ZCIT --------- 16

2.2 VARIABILIDADE INTRASAZONAL E INTERANUAL ---------- 18

2.3 REGIME DE PRECIPITAÇÃO NA AMAZÔNIA - BELÉM ---------- 19

2.4 REGIME DE PRECIPITAÇÃO NA ILHA DE JAVA – INDONÉSIA ---------- 20

2.5 REGIME DE PRECIPITAÇÃO EM NAIRÓBI – QUÊNIA ---------- 21

3 MATERIAL E MÉTODOS 22

3.1 ÁREA DE ESTUDO ---------- 22

3.2 MATERIAL ---------- 23

3.3 MÉTODOS ---------- 24

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES 26

4.1 ANÁLISE ANUAL DA PRECIPITAÇÃO E DO VENTO HORIZONTAL ---------- 26

4.2 ANÁLISE SAZONAL DA PRECIPITAÇÃO E DO VENTO HORIZONTAL ---------- 28

4.3 ANÁLISE MENSAL DA PRECIPITAÇÃO E DO VENTO HORIZONTAL ---------- 33

4.4 ANÁLISE DE MULTIESCALA DA PRECIPITAÇÃO MENSAL ---------- 37

4.4.1- Belém 37

4.4.2 – Nairóbi 37

4.4.3 – Jakarta 38

5 CONCLUSÕES 42

REFERÊNCIAS 43

1 INTRODUÇÃO

Na região tropical, a variação tempo-espaço das variáveis meteorológicas, em especial a precipitação, estão relacionados à atuação de fenômenos meteorológicos de diferentes escalas de tempo, que modulados por mecanismos oceano-atmosfera de escala interanual, sazonal e intrasazonal determinam à quantidade pluviométrica de determinadas regiões equatoriais. Neste sentido, os principais mecanismos tropicais de circulação oceano-atmosfera são: o El Niño Oscilação Sul, o Dipolo do Atlântico e a Oscilação de Madden-Julian que atuantes em suas diferentes fases favorecem ou desfavorecem a atividade convectiva em áreas tropicais (MOURA; SHUKLA, 1981; RASMUSSON; ARKIN, 1985; SOUZA; AMBRIZZI, 2006; VITORINO, 2003; WEICKMANN et al., 1985).

Dentre os fenômenos meteorológicos de grande escala, destaca-se a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), que é uma banda zonal associada à atividade convectiva que oscila entre 5° S e 10°N, aproximadamente (UVO, 1989; WALISER; GAUTIER, 1993). Este fenômeno caracteriza-se por uma faixa de nebulosidade descontínua, pois é composta de aglomerados distintos de nuvens, os quais são separados por regiões de céu claro (MENDONÇA, 2007). A intensidade da ZCIT é variável tanto no tempo como no espaço, as precipitações excedem-se bastante, devido à umidade fornecida pela evaporação das superfícies oceânicas abaixo dela e pela evapotranspiração de algumas regiões continentais. Estudos feitos por Uvo (1989), Waliser e Gautier (1993) mostram que a posição e a intensidade da ZCIT estão intimamente relacionadas às condições de superfície do oceano e da atmosfera.

Elevadas quantidades pluviométricas, uma vez atingidas, geram grandes transtornos para a agricultura e pecuária, inclusive, grandes centros urbanos que não estão preparados economicamente e estruturalmente para receber estes volumes d'água. Neste contexto, a intensidade das chuvas ou até mesmo sua escassez se torna mais um grande problema que a população mundial tem que enfrentar em meio a um cenário de enchentes, pessoas desabrigadas e muitas mortes. Desta forma, a ZCIT representa o sistema atmosférico com potencial de causar grandes quantidades de precipitação sobre as áreas continentais tropicais, principalmente sobre as grandes metrópoles, onde a população é mais acentuada.

Dentre as maiores cidades localizadas na região de atuação da ZCIT, destacam-se Belém, no Brasil; Nairóbi, no Quênia; e Jakarta, na Indonésia que serão foco de estudo deste trabalho. Estas cidades apresentam latitudes semelhantes e se localizam em continentes diferentes, daí a importância de se fazer uma análise do comportamento da variabilidade espaço-tempo da

precipitação associada à ZCIT, bem como a sua interação com outros fenômenos atmosféricos de múltiplas escalas.

1.1 OBJETIVO GERAL

Investigar e analisar a variabilidade tempo-espaço da precipitação e do vento horizontal em superfície relacionado com a atuação da Zona de Convergência Intertropical em Belém, Nairóbi e Jakarta, e seus processos convectivos de múltiplas escalas de tempo.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar as variações temporais da precipitação e do vento horizontal em superfície nas escalas de tempo anual, sazonal e mensal sobre Belém, Nairóbi e Jakarta;
- Comparar a variabilidade da precipitação e do vento horizontal em superfície sobre Belém, Nairóbi e Jakarta;
- Relacionar o comportamento tempo-espaço da precipitação e do vento horizontal em superfície com os mecanismos atmosféricos e oceânicos;
- Detectar as oscilações atmosféricas de múltiplas escalas de tempo associada à precipitação mensal em Belém, Nairóbi e Jakarta.

1.3 JUSTIFICATIVA

O fato da quantidade de precipitação ocasionar diferentes impactos sócio-ambientais, principalmente nas grandes metrópoles, devido ao inchaço habitacional em locais inapropriados, torna-se importante estudar os sistemas meteorológicos precipitantes. Neste sentido, a Zona de Convergência Intertropical é o principal sistema meteorológico responsável pela qualidade da estação chuvosa nas latitudes equatoriais do hemisfério sul, durante os meses de janeiro a maio.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste item serão apresentados os elementos teóricos baseados em alguns aspectos atmosféricos estáticos e dinâmicos relacionados à Zona de Convergência Intertropical, bem como o conhecimento do regime chuvoso e seco da América do Sul, África e Ásia, na região tropical. Serão também apresentadas as escalas de tempo associadas à variabilidade intrasazonal e interanual, e seus possíveis mecanismos atmosféricos determinantes.

2.1 FATORES FÍSICOS E METEOROLÓGICOS DETERMINANTES DA ZCIT

A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) é considerada o sistema meteorológico mais importante gerador de precipitação sobre a região equatorial dos Oceanos Atlântico, Pacífico e Índico, assim como sobre as áreas continentais adjacentes. Esse sistema é visualizado em imagens de satélite como uma banda de nuvens convectivas que se estende em uma faixa ao longo da região equatorial. A influência que a ZCIT exerce sobre as precipitações observadas nos continente africano, sul-americano e asiático foi mostrada por Citeau et al.(1988a),Hastenrath e Heller (1977), Uvo (1998) e Waliser e Gautier (1993).

Um conjunto de variáveis meteorológicas que atua sobre a faixa equatorial dos oceanos pode definir a ZCIT, a saber: a zona de confluência dos alísios (ZCA), a região do cavado equatorial, as áreas de máxima temperatura da superfície do mar (TSM) e de máxima convergência de massa, e a banda de máxima cobertura de nuvens convectivas. Essas variáveis atuam próximo à faixa equatorial dos oceanos e não se apresentam, necessariamente, sobre a mesma latitude em superfície, mas próximas umas das outras. A correlação entre os sistemas integrantes da ZCIT é alta, quando se estuda fatos ligados ao seu deslocamento, os resultados costumam ser bastante semelhantes. O estudo de Hastenrath e Lamb (1977) mostrou que, durante os meses de verão boreal, a ZCA posiciona-se sobre a região do cavado equatorial, e as regiões de máxima cobertura de nuvens, precipitação e convergência de massa associadas a ZCIT são quase coincidentes e localizam-se ao sul da ZCA. O inverso ocorre durante o verão austral, quando a região de máxima cobertura de nuvens localiza-se ao norte da ZCA. Da mesma forma os resultados apresentados por MELO et al. (2000) também mostraram que nos meses de março e abril a ZCA tende a se posicionar ao sul da região de máxima convergência horizontal dos ventos e da região de mínimos valores de radiação de onda longa (ROL).

É importante mencionar que os aspectos oceano-atmosféricos de grande escala podem acentuar ou inibir o desempenho de sistemas principais como a ZCIT, uma vez que sua configuração é inerente à circulação geral da atmosfera. Desta forma, a posição da ZCIT ao norte do equador, na maior parte do ano, está relacionada à existência de águas mais frias na região equatorial leste dos Oceanos Pacífico e Atlântico. Nessas áreas, as assimetrias no escoamento do vento à superfície estão associadas às características geográficas próximas à costa oeste da África e América do Sul. O estudo de Waliser e Gautier (1993) consiste na migração sazonal durante o ciclo anual da ZCIT, que varia de maneira distinta, dependendo da região do globo. Na África, por exemplo, a ZCIT acompanha o ciclo solar, podendo se deslocar entre 10°N e 10°S. Nas regiões do Oceano Pacífico Leste e Atlântico, o ciclo anual da ZCIT é similar, particularmente durante o outono do hemisfério norte, quando atinge sua posição mais ao norte (FIGURA 1).

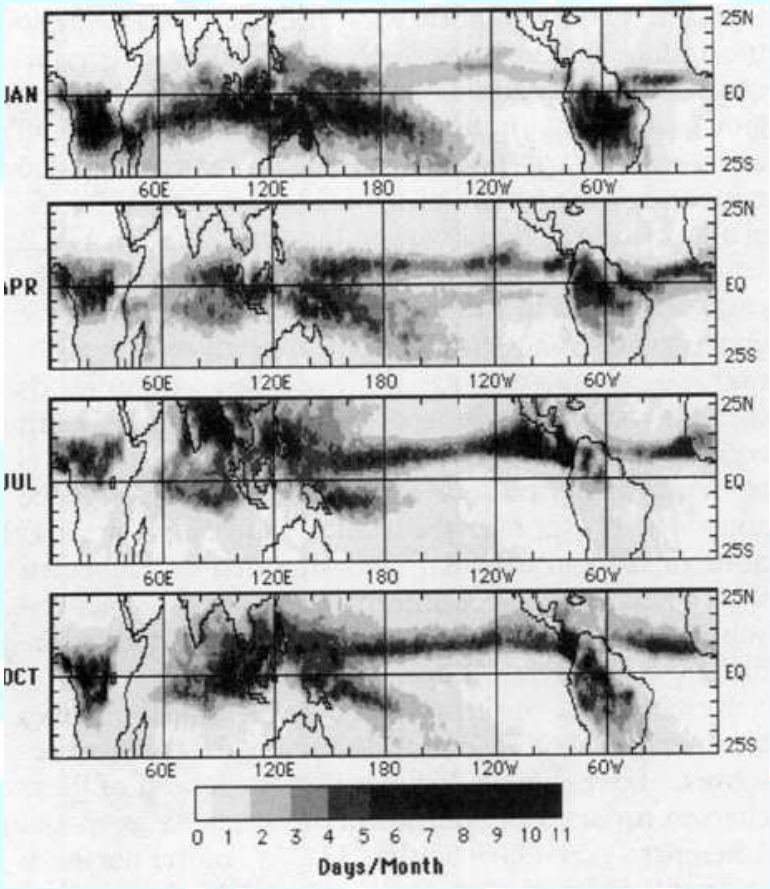

FIGURA 1: Estrutura mensal da ZCIT, onde as áreas escuras representam maior convecção.
Fonte: (WALISER; GAUTIER, 1993).

2.2 VARIABILIDADE INTRASAZONAL E INTERANUAL

Estudos mostram que a atmosfera tropical é modulada pelas oscilações intrassazonais associadas com o OMJ (Lau e Chan, 1983; Madden e Julian, 1971, 1972;; Weickmann et al., 1985) e pelas oscilações interanuais associadas com a oscilação sul (Rasmusson e Arkin, 1985). Essas oscilações influenciam os padrões de anomalias da circulação atmosférica que estão relacionados com as variações na precipitação de muitas regiões dos trópicos e subtrópicos. Segundo Krishnan e Kasture (1996), as mudanças no escoamento de larga escala, causadas pelas anomalias do ENOS, afetam a propagação das oscilações de 30-50 dias. Lau e Chan (1986), utilizando dados de ROL, observaram que durante o El Niño 1982/83, a convecção associada às oscilações de 40-50 dias sofrem significativas mudanças esporadicamente no Pacífico Oeste.

As oscilações intrasazonais interagem com fenômenos de diversas escalas de tempo e espaço. Matthews e Kiladis (1999) descobriram que a atividade de onda é intensificada no jato asiático-africano, anteriormente à inibição da OMJ sobre o oceano Índico. Matthews (2000) propôs dois mecanismos para a propagação de leste da convecção associada à OMJ e para a sua regeneração. Segundo o autor, um desses mecanismos é de carácter local, atuando no Índico/Pacífico oeste, e o outro é de escala global. No mecanismo local, as anomalias convectivas (de qualquer sinal) no oeste têm como resposta uma onda equatorial de Rossby, que cria, a leste, novas anomalias de sinal oposto, enquanto as anomalias a leste, por meio da onda equatorial de Kelvin, que é uma resposta a essas anomalias. No outro mecanismo, a convecção aumentada no pacífico oeste excita anomalias negativas de pressão ao nível médio do mar (PNM), que se expandem rapidamente para leste como uma onda equatorial de Kelvin seca, a uma velocidade de fase de 35 m/s no pacífico leste. As regiões montanhosas dos Andes e do Himaláia retardam a OMJ a oeste. Alguns estudos identificaram importantes sinais associados a uma modulação da OMJ na ocorrência de precipitação intensa. Carvalho et al. (2004) detectaram que fases da OMJ caracterizadas por supressão de convecção sobre a Indonésia e aumento em 95% da precipitação diária sobre as regiões norte e nordeste do Brasil. Por outro lado, padrões opostos são observados durante o aumento de convecção sobre a Indonésia e a supressão de convecção no pacífico central. Jones et al. (2004) investigaram relações entre a propagação para leste da OMJ e ocorrências globais de precipitação extrema no oceano Índico, na Indonésia e no Pacífico oeste durante períodos ativos da OMJ do que em situações inativas da oscilação.

Durante episódios de El Niño, a TSM do Oceano Pacífico equatorial central e leste fica mais quente do que o normal, aumentando a convecção atmosférica nessas regiões, enquanto se esfria no pacífico oeste, onde a convecção a e precipitação diminuem. Nos trópicos, anomalias positivas de

TSM aumentam o fluxo de calor e umidade para a atmosfera, diminuindo a pressão na superfície e aumentando a convergência de baixos níveis e, portanto, a convecção. Com o aumento da convecção, aumenta-se a formação de nuvens e a liberação de calor latente para a atmosfera, o que produz expansão da coluna atmosférica e divergência em altos níveis.

As fontes anômalas tropicais de calor associadas aos episódios de ENOS perturbam as circulações divergentes de Walker (zonal) e de Hadley (meridional) sobre a América do Sul e outras partes do equador, produzindo trens de ondas de Rossby, que são anomalias de circulação rotacional que se propagam para os extratrópicos do continente. Ainda assim, segundo MOURA e SHUKLA (1981) os padrões de ENOS alteram a TSM do Atlântico Equatorial, gerando um Dipolo, com uma fase fria que favorece o deslocamento da ZCIT mais ao sul de sua posição climatológica ou uma fase quente que influencia na permanência da ZCIT mais ao norte.

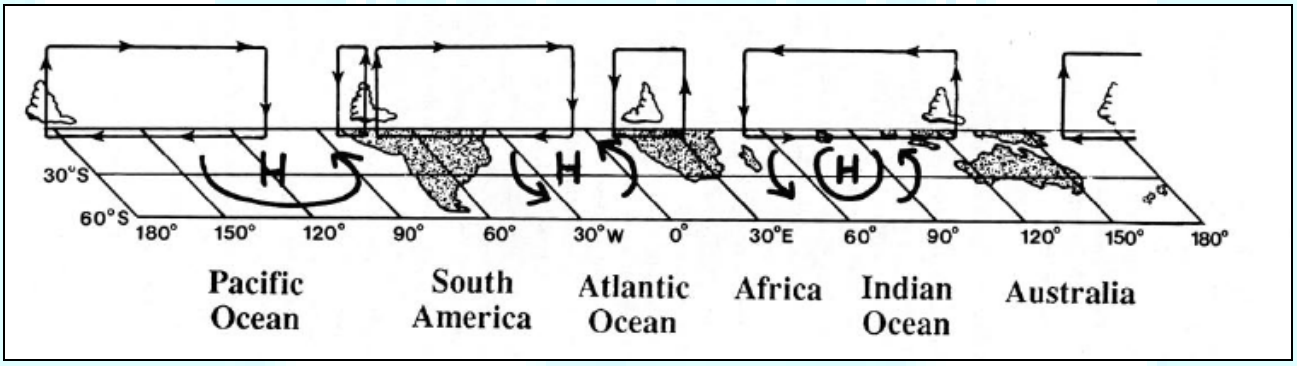

FIGURA 2: Esquema da circulação de Walker .Fonte: Modified from Newell (1979)

2.3 REGIME DE PRECIPITAÇÃO NA AMAZÔNIA - BELÉM

A precipitação média anual na Amazônia é de, aproximadamente, 2300 mm, com áreas de precipitação superiores a 3000 mm localizadas nos setores oeste, noroeste e no litoral norte; nas sub-regiões entre estes máximos, há mínimos de 1600 mm (FIGUEROA; NOBRE, 1990). A marcha sazonal média da precipitação apresenta duas estações bem distintas, a estação de estiagem durante o inverno e primavera do HS, com precipitações superiores a 200 mm/mês.

Um dos fatores que influenciam diretamente a precipitação na Amazônia são os diversos sistemas meteorológicos que a atingem. Molion (1987) mostra que as circulações de meso e grande escala que atuam na Amazônia e os processos dinâmicos que as organizam, promovem a precipitação naquela área.

O Leste da Amazônia é caracterizado por duas estações bem distintas: a estação seca (junho a novembro), com precipitação em torno de 50 mm/mês e a estação chuvosa (dezembro a maio), com precipitações maiores que 250 mm mensais, causado principalmente pela presença da ZCIT. Ainda assim, a ZCIT pode interagir com as linhas de instabilidade (LI), que são responsáveis por, aproximadamente, 45% da precipitação do leste paraense, com máxima freqüência entre os meses de abril e agosto (COHEN, 1989; COHEN et al., 1995).

Assim, a atividade convectiva característica da bacia amazônica tem um papel importante na determinação das condições do tempo e do clima da região. Ou seja, a convecção influencia os sistemas meteorológicos que atuam na região, da mesma maneira que os sistemas meteorológicos atuam para fortalecer e/ou enfraquecer as atividades convectivas (MOTA, 2004).

2.4 REGIME DE PRECIPITAÇÃO NA ILHA DE JAVA – INDONÉSIA

A Indonésia é uma interessante região, para pesquisas climáticas. Em termos de dinâmica atmosférica, esta região é influenciada tanto pela célula de Hadley, como pela célula de Walker. O regime de precipitação da Indonésia é caracterizado, principalmente pelas monções (RAMAGE, 1971) o ciclo do fenômeno ENOS (HENDON, 2003; PHILANDER, 1989; ROPELEWSKI, 1992). A Indonésia apresenta duas fases de monção a cada ano, a fase chuvosa de dezembro a abril, que coincide com a presença da ZCIT nesta região (ASNANI, 1993), e a fase seca de maio a novembro.

As chuvas na Indonésia também estão relacionadas com a dinâmica do dipolo do atlântico que define a atuação da OMJ. Esta oscilação apresenta maior contribuição na precipitação local e de áreas no hemisfério sul, principalmente nos meses de dezembro a junho. Desta forma, é importante ressaltar que a TSM desta região é mais elevada do que as demais áreas vizinhas e que durante os episódios de ENOS a OMJ sofre grande influência, inclusive durante o fenômeno El Niño que a mesma desaparece da região tropical (LAU E CHAN, 1983).

2.5 REGIME DE PRECIPITAÇÃO EM NAIRÓBI – QUÊNIA

A precipitação associada à ZCIT no leste do continente africano apresenta uma dinâmica bastante complexa em função de fatores locais como a topografia, a heterogeneidade de vegetação (deserto a floresta), lagos e proximidade com os oceanos Atlântico e Índico. Segundo Nicholson (1993) a variabilidade interanual se destaca, entre as demais, na determinação das chuvas da região. A maior porção da estação chuvosa é marcada por chuvas de curta duração nos meses de outubro a dezembro. Na capital do Quênia, Nairóbi as chuvas mais intensas ocorrem durante os meses de abril-maio e outubro-novembro.

3 **MATERIAL E MÉTODOS**

Neste tópico será apresentada a área de estudo, o material utilizado e as ferramentas matemático-estatísticas usadas para a análise dos dados observacionais de precipitação e de vento horizontal em superfície.

3.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo foi selecionada por representar espacialmente a posição da variação da ZCIT relacionada à atuação em grandes metrópoles, com semelhantes faixas de latitude e em diferentes continentes. A figura 2 mostra a localização das cidades de Belém na América do Sul (lat =1º 28’ 22” S, lon= 48º 30’ 53”W), Nairóbi no leste da África (lat=1º 16’ 00” S, lon= 36º 49’ 00”E) e em Jakarta no sudeste da Ásia (lat=6º 12’ 97” S, lon= 106º 50’ 27”E). Estes locais apresentam diferentes composições de superfície combinadas à atuação da ZCIT, durante o solstício de verão e equinócio de outono.

A seguir serão mencionados alguns aspectos físicos, sociais e econômicos de cada local, e também mostrar que as condições de superfície podem levar a diferentes quantitativos de precipitação local.

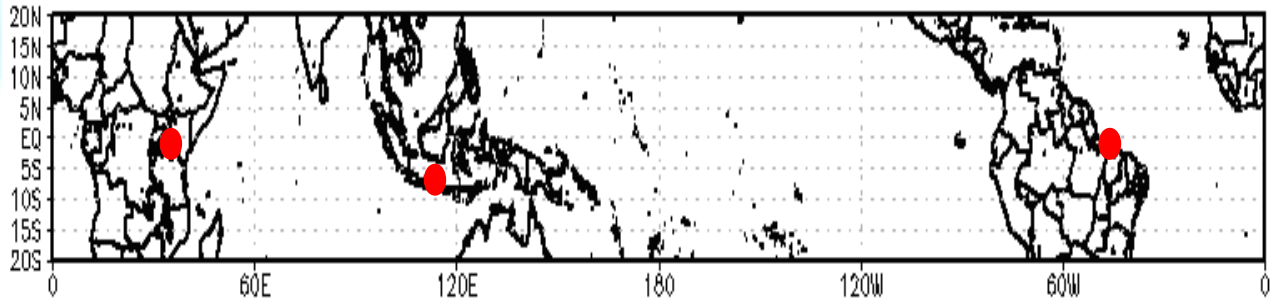

FIGURA 3: Localização das cidades de Belém no América do Sul, Nairóbi no continente africano e Jakarta na Ásia (locais em círculo vermelho).

Belém é uma região metropolitana com cerca de 2.250.000 habitantes e apresenta uma área que compreende a 1.819,273 m^2, segundo o censo de 2009 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Esta cidade está localizada em um dos mais conhecidos e visados biomas do mundo, a Amazônia, logo é banhada por rios e baias, além da proximidade com o oceano atlântico.

Nairóbi, capital do Quênia, país que fica no lado leste da África. Um dos grandes desafios do Quênia é erradicar a extrema pobreza, elevando o baixo Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) que possui 0,541 em 2009, e o aumento de sua expectativa de vida que é de apenas 53 anos, segundo dados internacionais do IBGE. O Quênia possui grande diversidade de paisagens: o deserto Chalbi no norte, praias no sudeste e planaltos elevados no centro-oeste. O segundo maior pico do continente, o monte Quênia, com 5.199 metros de altura, fica nessa região, pontilhada por pequenos lagos. Alguns desses lagos são santuários de aves, como o Nakuru, que abriga 2 milhões de flamingos. O país também é palco do maior espetáculo de vida selvagem do planeta: todos os anos, milhões de animais, sobretudo guinús e zebras, migram para as savanas da Reserva Natural de Masai Mara, uma das principais atrações do país.

Nairóbi, com 3.100.000 habitantes é o principal centro de colonização branca da África equatorial; se localiza a uma altitude de, aproximadamente 1.680 m, com uma região marcada por terrenos montanhosos, onde a vegetação tem carácter de savana (CORREA, 1979).

Jakarta, capital da Indonésia está localizada na mais importante e populosa ilha do numeroso arquipélago que constitui o país, a ilha de Java, no extremo sul da Ásia. A Indonésia é um país que, atualmente, respira progresso em relação à décadas passadas, pois dos seus 230 milhões de habitantes, mais da metade vive na área urbana, logo 47% da população vive em pequenas aldeias agrícolas e ainda segue muitos costumes antigos, por isso a agricultura é a principal atividade econômica. O arroz é o alimento básico do povo, e isso justifica o fato de que a Indonésia encontra-se entre os maiores produtores mundiais desse produto. Outras plantações importantes são seringueiras, café, chá, côco, especiarias e milho. Florestas equatoriais, dentre elas, 60 vulcões ativos, fazem parte do cenário geográfico do país, que tem muitas montanhas. Com uma população de 18.200.000 de habitantes, Jakarta possui sua economia dominada pelas plantações de cana-de-açúcar, arroz, mandioca, azeite, como o resto do país (CORREA, 1979).

3.2 MATERIAL

Neste trabalho utilizou-se dados horários e diários de precipitação (PRP) e velocidade do vento em superfície (Vh) de Belém (lat =1º 28’ 22” S, lon= 48º 30’ 53”W), Jakarta (lat=6º 12’ 97” S, lon= 106º 50’ 27”E) e Nairóbi (lat=1º 16’ 00” S, lon= 36º 49’ 00”E), durante o período de 1999 a 2008. Os dados meteorológicos internacionais foram fornecidos pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE). Estes

apresentam ausência de dados no período de fevereiro a dezembro de 2000 para Jakarta,o que resulta em redução no quantitativo da velocidade do vento e da precipitação acumulada.

3.3 MÉTODOS

Foi aplicado aos dados meteorológicos o cálculo da média aritmética para os dados de velocidade do vento e feita a composição da precipitação acumulada nas escalas de tempo anual, sazonal e mensal, utilizando para isso o software Excel. Além disso, utilizou-se o método matemático da Transformada em Ondeletas (TO) para detectar as oscilações atmosféricas de múltiplas escalas de tempo associadas à precipitação mensal em Belém, Nairóbi e Jakarta para o período de 1999 a 2008, utilizando o software Matlab. A análise da TO permitirá o entendimento da composição do sinal mensal da precipitação de cada localidade, juntamente com os mecanismos atmosféricos de diferentes escalas de tempo e suas interações, responsáveis pela modulação da chuva local.

Para a análise na escala sazonal foram estabelecidos dois períodos distintos de cada ano, um chuvoso de Janeiro a Maio e outro seco de Junho a Dezembro. O período chuvoso visa representar a atuação da ZCIT, durante o verão e outono austral. Além disso, os episódios de ENOS observados no período de 1999 a 2008 serão utilizados para a análise da variabilidade anual, sazonal e mensal da PRP, visto que as áreas em estudos sofrem influência da circulação atmosférica zonal (tabela 1).

Tabela 1: Episódios de ENOS para o período de 1999 a 2008

Ano	Meses	Fase	Intensidade
99/00	Jan-Dez	LN	Fraca
00/01	Out-Fev	LN	Fraca
01/02	Mar-Abr	Neutro	-
02/03	Mai-fev	EN	Moderado
03/04	Abr-Mai	Neutro	-
05/06	Mar-Jul	Neutro	-
06/07	Ago-Jan	EN	Fraco
07/08	Set-Mai	LN	Moderado

Fonte: CPC/NOOA (2010).

A Transformada em Ondeletas (TO) é uma técnica de análise do sinal em tempo-escala usada para análise de sinais não-estacionários, desenvolvida a partir do final dos anos 80, como uma forma de projetar em escalas, funções temporais (DAUBECHIES, 1990). Este método é baseado na teoria de grupos e nas funções quadraticamente integráveis (energia finita), permitindo decompor um sinal dependente do tempo em ambos, tempo e escala. A TO da função $f(t) \in L^2(\Re)$ é definida pela expressão (FARGE, 1992):

$$W_\psi f(a,b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{+\infty} f(t)\, \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt \qquad (1)$$

onde $a \neq 0 \in \Re^+$ e $b \in \Re$.

A TO foi utilizada em vários estudos, desde a escala climática, El Niño Oscilação Sul a escalas micrometeorológicas, com análise de processos turbulentos (GU; PHILANDER, 1995; WENG e LAU, 1994). Para este estudo, a função principal, ou seja, a função ondeleta-mãe utilizada é a Morlet, que por ser complexa fornece informações a respeito da energia (amplitude) e fase (WENG; LAU, 1994). Esta função possui a seguinte forma:

$$g(t) = e^{i\omega_o t}\ e^{-t^2/2} \qquad (2)$$

A função ondeleta-mãe foi escolhida por ser a mais adequada à captação de sinais atmosféricos com características simétricas e assimétricas de maneira contínua ao longo do tempo (DAUBECHIES, 1992). Desta forma, neste estudo foi analisada a fase da ondeleta da precipitação mensal, ou seja, a parte real da função Morlet. O cálculo dos coeficientes de ondeleta foi realizado através de um algoritmo executado no software Octave e visualizado no software Grads.

4 **RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Os resultados a seguir serão apresentados com base na análise da precipitação e do vento horizontal nas escalas anual, sazonal e mensal para Belém, Nairóbi e Jakarta, seguido de comparações entre as localidades. Mais adiante, serão mostrados os escalogramas de ondeleta de precipitação para análise das oscilações atmosféricas de multiescalas que compõe o sinal de cada região em estudo.

4.1 ANÁLISE ANUAL DA PRECIPITAÇÃO E DO VENTO HORIZONTAL

A figura 4 mostra que as três cidades estudadas apresentam uma variabilidade anual de precipitação bem acentuada. Belém mostra totais pluviométricos acima de 3.000 mm em seis dos dez anos estudados, com o menor valor de 2.600 mm em 1999. Nairóbi apresenta os menores valores de precipitação, com um máximo em torno de 2.600 mm (2006) e mínimo de 800 mm em 2005. Por outro lado, Jakarta mostra maiores variações de amplitude do que as demais cidades. As maiores precipitações ocorrem em 2007 e 2008, e a menor em 2000.

Jakarta apresenta o segundo maior volume pluviométrico, sendo que ultrapassa Belém em três anos, 2003; 2007 e 2008, com valores máximos de até 4.000 mm. No entanto, esta cidade apresenta valores muito variados de precipitação ao longo de 10 anos. Nairóbi, apesar da pouca precipitação acumulada em comparação com as outras cidades, apresenta pouca variação com valores acima de 1000 mm em 80 % dos dados obtidos. Belém é a cidade que apresenta menor variação ao longo do período, portanto é a cidade com maior freqüência e volume de chuvas, em relação às três cidades estudadas.

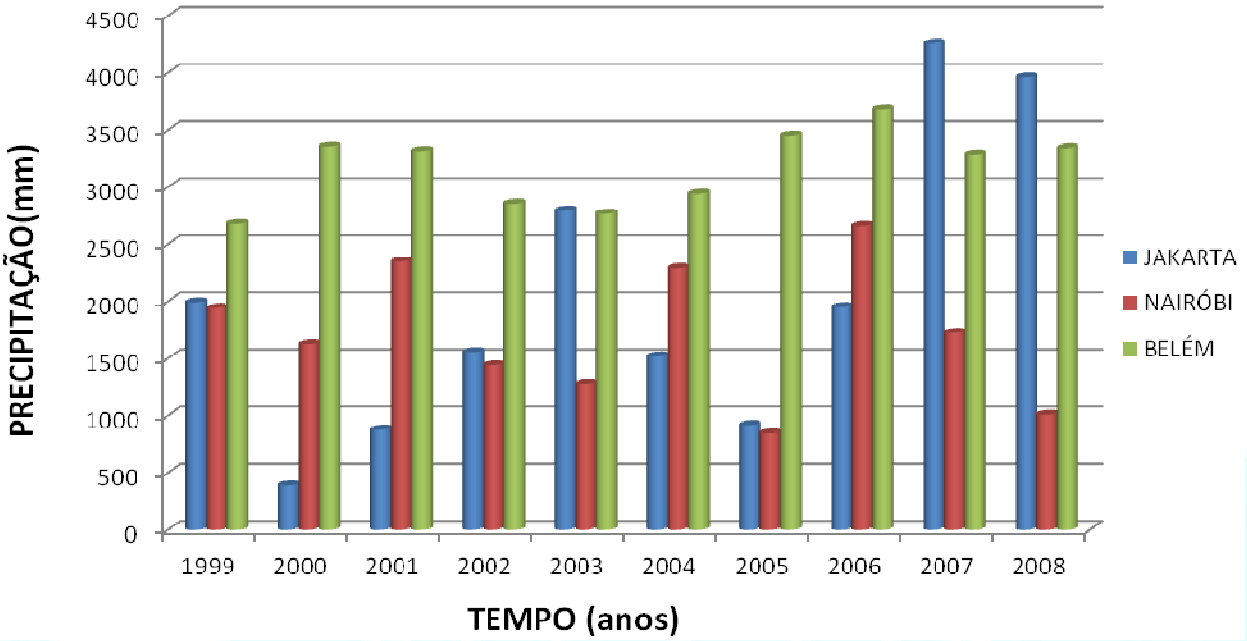

FIGURA 4: Variação tempo-espaço da precipitação anual acumulada em Belém, Jakarta e Nairóbi, durante 1999 a 2008.

As características locais de cada lugar é de grande relevância para a determinação de um regime chuvoso de uma localidade. A região que cerca Nairóbi, é marcada por planaltos elevados, onde fica localizado o segundo maior pico do continente africano, o monte Quênia com 5199 metros de altura (MARIN,1979). A vegetação tem carácter de savana, com uma baixa densidade de árvores de grande porte, além da significativa distância do oceano. Logo, a característica local, e os fenômenos de microescala não interagem de forma acentuada com outros fenômenos de grande escala como a ZCIT, contribuindo assim para quantidades maiores de PRP em Nairóbi.

Belém está envolvida por uma região com grande potencial hídrico, devido a grande abundância de rios e florestas e a proximidade com o oceano. Esses fatores locais contribuem em grande relevância para distribuição da precipitação em todos os anos, fazendo com que Belém apresente essa pouca variação anual e o maior volume pluviométrico.

As numerosas ilhas que envolvem Jakarta apresentam características físicas e geográficas que favorecem a convecção nessa região da Indonésia, devido ao pouco volume de água estrangulado por essas pequenas porções continentais, que geram aquecimento. As variadas montanhas, a exuberante floresta e o litoral, também estão presentes na Ilha de Java onde se localiza a capital.

Os anos de 2007 e 2008 tiveram episódios de La Niña até o mês de junho (CPC.NOAA), logo um ramo ascendente da célula de Walker se posiciona próximo as ilhas da

Indonésia, e o outro ramo ascendente sobre a Amazônia, o que favorece a convecção nessas duas regiões da faixa equatorial. Já na África, o ramo ascendente da célula de Walker se posiciona na parte central do continente, não atingindo a parte leste, onde fica localizada a cidade de Nairóbi.

De acordo com a figura 5, fica bastante evidente que Nairóbi apresenta maiores valores médios de velocidade do vento, com magnitude acima de 4 m/s, o menor valor registrado é de 3,5 m/s em 2004. Esta localidade não tem muita variação no comportamento do vento durante todo o período. Com relação à Jakarta, os ventos se comportam de maneira irregular, com um evidente decréscimo no valor de 3,4 m/s em 2001 a 2,2 m/s em 2008. O gráfico também mostra que Jakarta obteve todos os valores de vento acima de 2,0 m/s. Belém mostra pouca variação na intensidade do vento, são valores pouco acima de 1m/s, sendo que o valor máximo foi de 1,8 m/s em 2003.

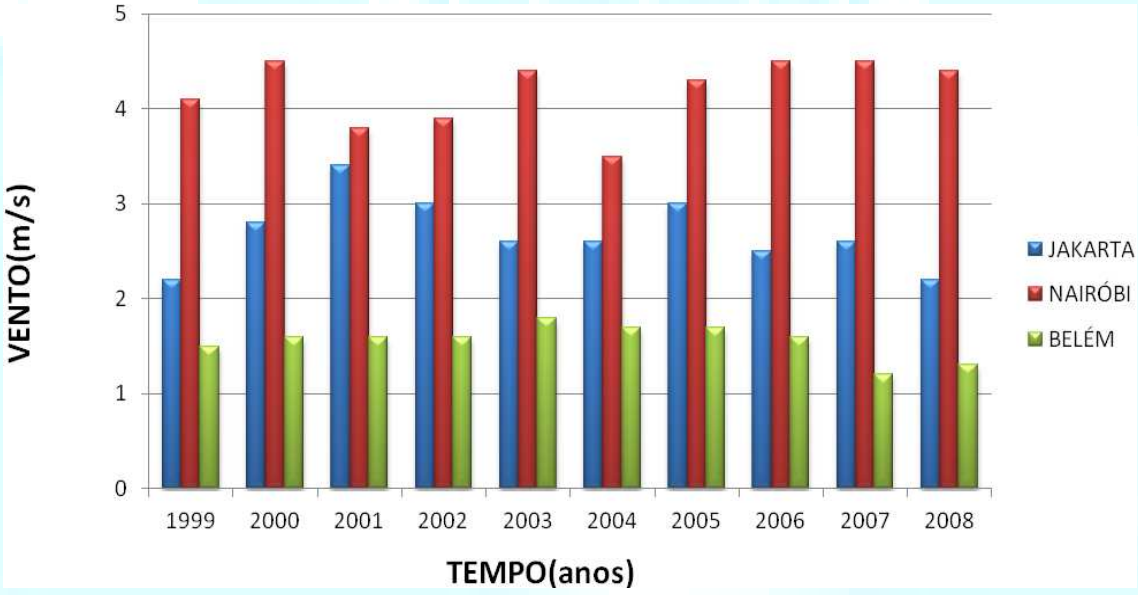

FIGURA 5: Variação tempo-espaço da velocidade média anual do vento horizontal em Belém, Jakarta e Nairóbi, durante 1999 a 2008.

4.2 ANÁLISE SAZONAL DA PRECIPITAÇÃO E DO VENTO HORIZONTAL

Notou-se, para a cidade de Belém, maiores volumes de precipitação no período chuvoso (janeiro a maio) em comparação ao seco (junho a dezembro). A média do período seco é de 1944,46 mm, sendo que apenas os anos de 2000, 2005, 2006 e 2008, apresentaram valores acima dessa média, com destaque para o valor de 2253,6 mm em 2008, quando foi detectada um evento de La Niña moderada, o que deve ter proporcionado grandes volumes pluviométricos no período de

atuação da ZCIT nesta região. O menor valor foi em 2003, com 1692,7 mm, já que neste ano estava em atuação o fenômeno El Niño considerado moderado, que inibe as chuvas nesta região, mesmo com a atuação de um fenômeno de escala global como a ZCIT (Figura 6). O período seco apresenta valor mínimo de 961,1 mm em 1999 e valor máximo em 2006 de 1514 mm, sendo que os anos, com anos de 2001, 2005, 2006 e 2007, apresentaram valores acima da média do período (1223,2 mm).

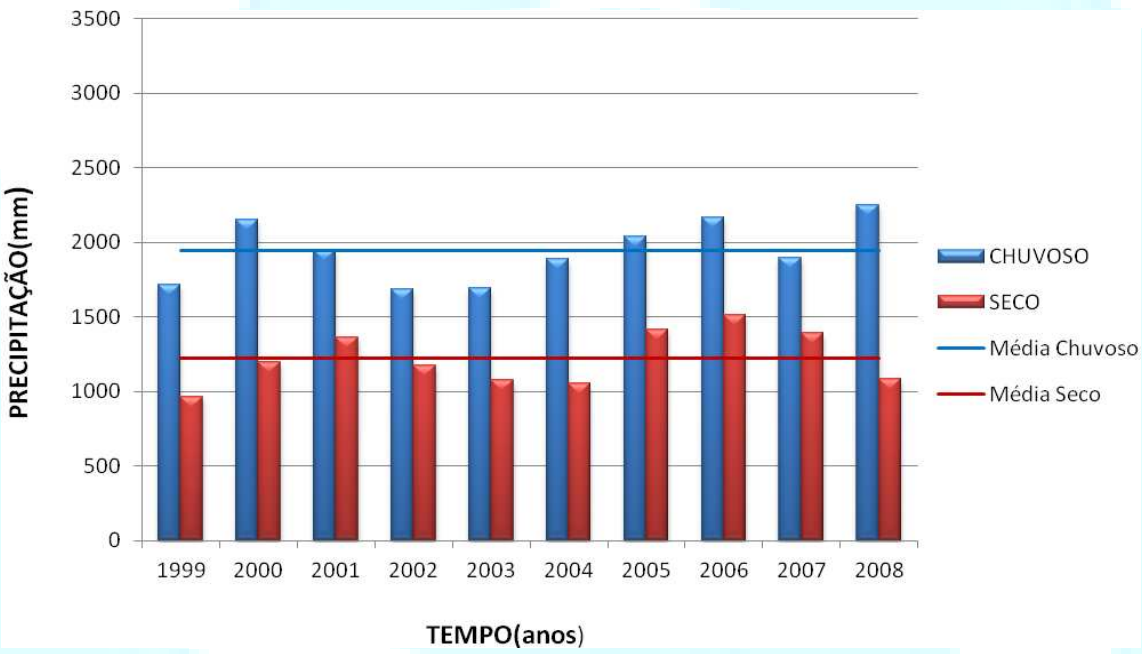

FIGURA 6: Variação temporal da precipitação sazonal para Belém, durante 1999 a 2008.

A figura 7 mostra que na maioria dos anos, Jakarta apresenta períodos chuvosos maiores que os secos, com uma inversão apenas nos anos de 1999 e 2002. Os maiores valores se encontram em 2007 e 2008, com 2707 e 3448,2 mm, respectivamente. Em 2003, 2007 e 2008 também é visto valores de precipitação acima da média(1390,84 mm), com 1788,7 mm. Na maioria dos anos, as precipitações não passam de 1000 mm no período seco, porém 1999, 2002, 2003, 2006 e 2007 apresentaram volumes acima da média do período (630,32 mm).

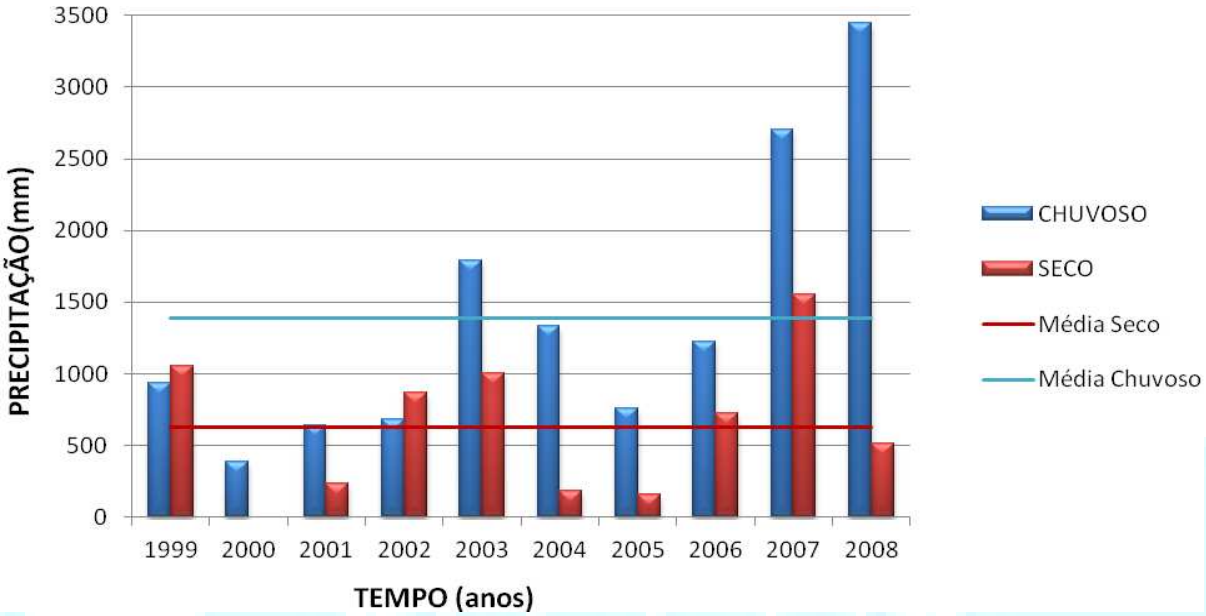

FIGURA 7: Variação temporal da precipitação sazonal para Jakarta, durante 1999 a 2008.

A figura 8 mostra que em 50% do período, Nairóbi apresenta períodos chuvosos maiores do que os secos. O maior valor do período chuvoso se observou em 2001, com uma precipitação de 1800 mm. A grande maioria dos anos apresentou períodos chuvosos e secos, abaixo da média para o próprio período. Vale ressaltar, que em 2008, Nairóbi apresentou poucos valores de precipitação em comparação com as outras cidades estudadas, o volume pluviométrico não passou dos 800 mm neste ano.

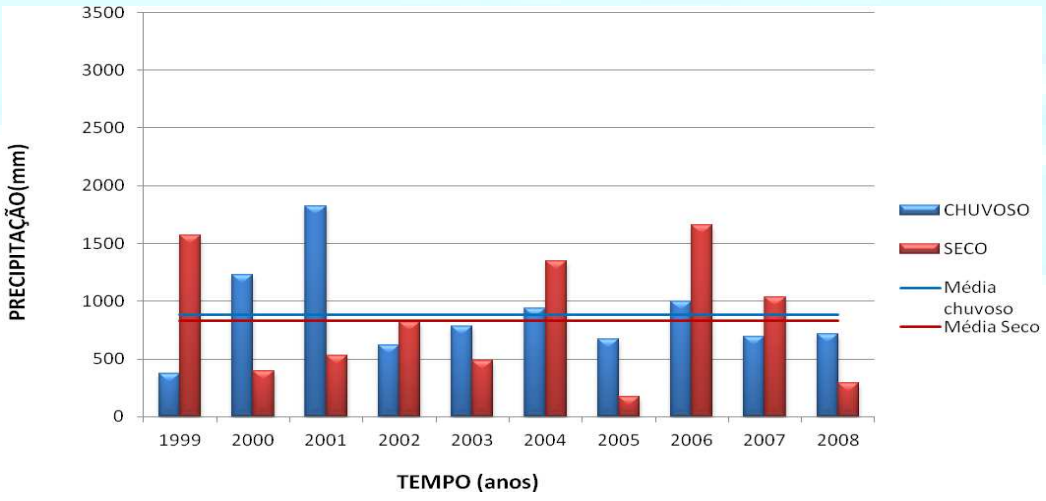

FIGURA 8: Variação temporal da precipitação sazonal para Nairóbi, durante 1999 a 2008.

De acordo com a figura 9, Belém apresenta valores muito próximos em relação às duas estações estabelecidas, os gráficos se combinam em todos os anos analisados, sendo que em relação à média do período, o valor mais baixo foi de 1,2 m/s em 2007 para os dois períodos.

Em analogia às outras cidades, Belém apresenta ventos mais calmos, com uma média de 1,81 m/s no período chuvoso e de 1,75 m/s no período seco, o que deixa bem claro que a intensidade do vento não difere muito em relação ao período de atuação da ZCIT.

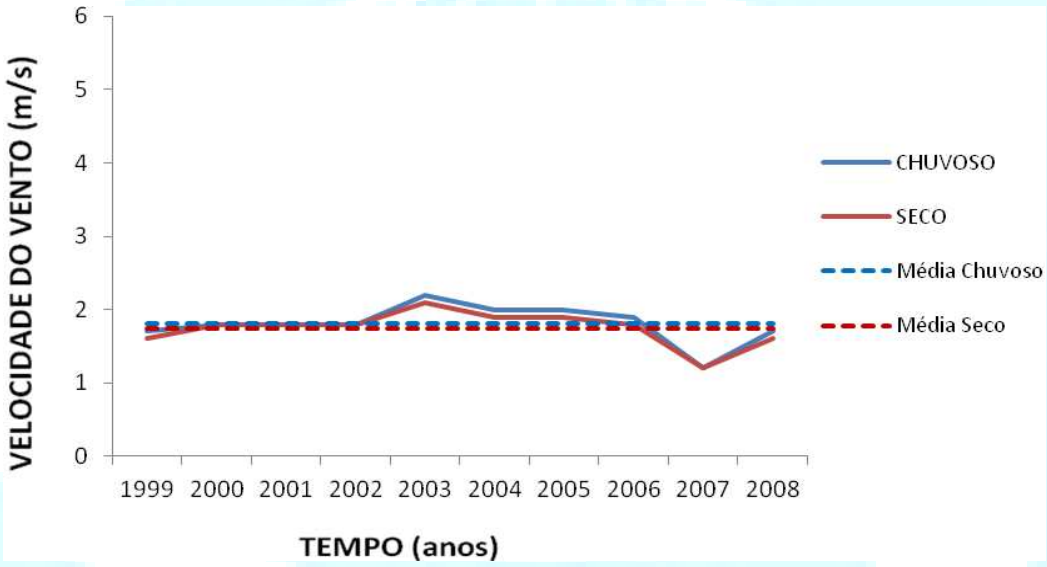

FIGURA 9: Variação sazonal da velocidade do vento para Belém, durante 1999 a 2008.

A intensidade do vento sazonal em Jakarta mostra que durante a estação seca, os ventos revelam maiores magnitudes em relação à estação chuvosa (Figura 10). Os anos de 2001, 2002 e 2005 indicam as maiores anomalias positivas, com 3,1; 3,0 e 3,4 m/s, respectivamente. Esta cidade apresenta uma única média para os períodos seco e chuvoso, 2,5 m/s. Os ventos assumem valores de 3,0 a 4,0 m/s em 1999, mas permanecem acima da média em quase todo o período, quando se observa um declínio da intensidade do vento em 2006, atingindo o valor mínimo de 1,9 m/s em 2008. Vale ressaltar que o ano de 2000 aparece sem valores para vento, devido a falta de dados para este ano na região da Ilha de Java, na Indonésia (CPTEC).

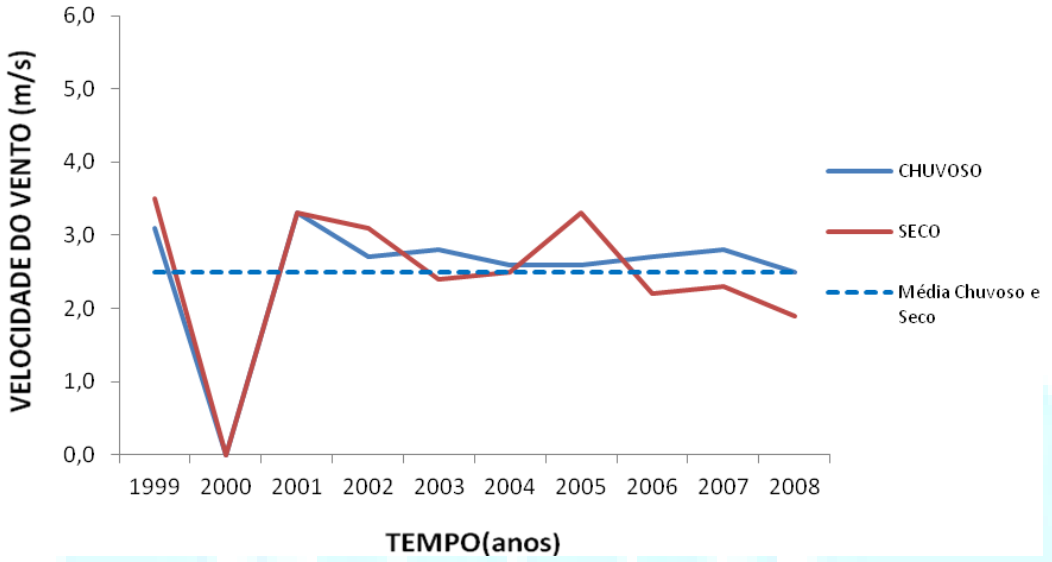

FIGURA 10: Variação sazonal da velocidade do vento para Jakarta, durante 1999 a 2008.

Os ventos da estação chuvosa de Nairóbi apresentam maior variação temporal em torno da média (figura 10), para o período úmido, seis anos apresentam valores de vento acima da média da estação, com destaque para os anos de 2003 e 2006, onde os ventos atingem valores de 4,8 e 5,3 m/s, respectivamente. Para o período seco, a magnitude do vento não passou dos 4,0 m/s, onde se observa pouca variação em torno da média. O menor valor registrado foi de 2,9 m/s em 2004.

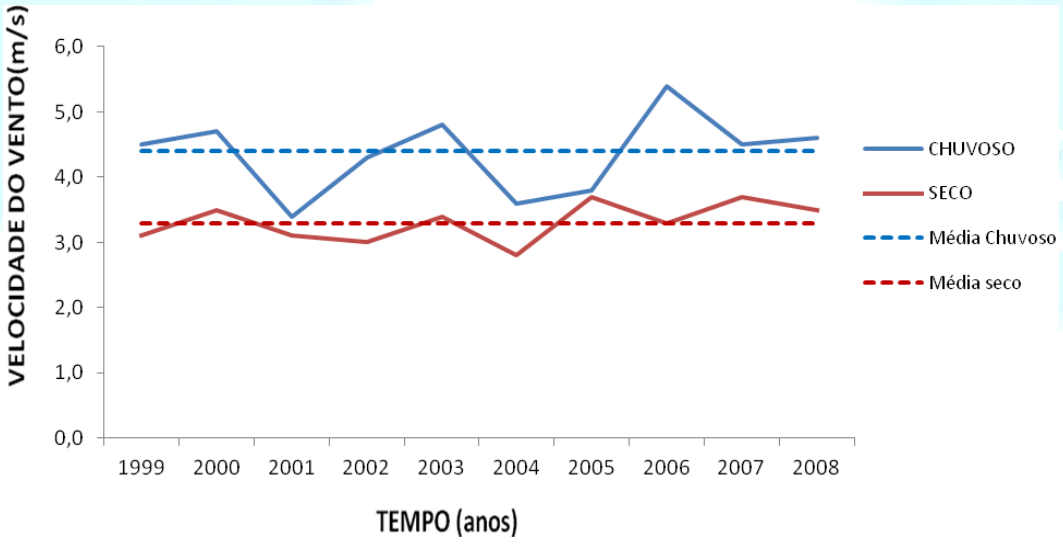

FIGURA 11: Variação sazonal da velocidade do vento para Nairóbi, durante 1999 a 2008.

4.3 ANÁLISE MENSAL DA PRECIPITAÇÃO E DO VENTO HORIZONTAL

A Figura 12 mostra que Nairóbi apresenta médias bastante próximas para os dois períodos (884,22 mm no período chuvoso e 831,96 mm no período seco). Esta cidade apresenta metade dos anos estudados com precipitações maiores que no período seco, sendo que apenas 4 anos têm valores acima da média para os dois períodos estabelecidos.

Em comparação com as outras cidades, Nairóbi tem poucos valores de precipitação, pois em nenhum período os valores chegam a 2000 mm. O ano de 2008, tanto o período seco, como o chuvoso apresentaram pouca precipitação, em relação às outras cidades, onde os totais pluviométricos atingiram grandes valores nos dois períodos estabelecidos.

A análise mensal da precipitação acumulada mostrada na figura 10 evidencia, para a cidade de Belém, máximos valores de precipitação no primeiro semestre de cada ano, caracterizando a estação chuvosa na Amazônia oriental. Os meses mais chuvosos são março e abril com destaque para o ano de 2006, onde a precipitação de abril chegou a 495,7 mm.

Jakarta também apresenta um comportamento semelhante para todos os anos estudados com maiores valores pluviométricos no início e final de cada ano. O ano de 2008 foi considerado bastante chuvoso nessa região do sul da Ásia. As precipitações atingem 1832,1 mm somente no mês de fevereiro. Os anos de 2003 e 2007, também apresentam elevados valores de 1312,8 e 1127,2 mm, respectivamente, também, durante os primeiros meses de cada ano.

Nairóbi é a localidade que apresenta o comportamento temporal mais variável das três cidades estudadas, com máximos de precipitação no início, meio e fim de cada ano. Isto pode representar a estação mais ou menos chuvosa nessa região da África oriental. A grande maioria dos valores pluviométricos mensais não passa dos 400 mm, sendo na maioria dos anos, o mês de julho apresenta 0 mm de PRP, evidenciando falta de chuva nessa região para este período.

As variações de PRP e Vh nas escalas anual, sazonal e mensal para Belém e Jakarta indicam que o fenômeno ENOS é um dos mecanismos oceano-atmosfera que modula a circulação atmosfera nessas latitudes. No entanto, Nairóbi mostra que variações atmosféricas de diferentes escalas parecem influenciar no comportamento da chuva na região. Isto pode esta relacionada também com a composição da superfície desta região. Neste sentido, estudos anteriores já haviam mencionado que a atmosfera tropical é marcada pela variabilidade interanual do ENOS (GU; PHILANDER, 1995; MOURA; SHUKLA, 1991). Mas, por outro lado é sabido que as características locais de superfície interferem na combinação de escalas associadas aos mecanismos moduladores da chuva de cada região.

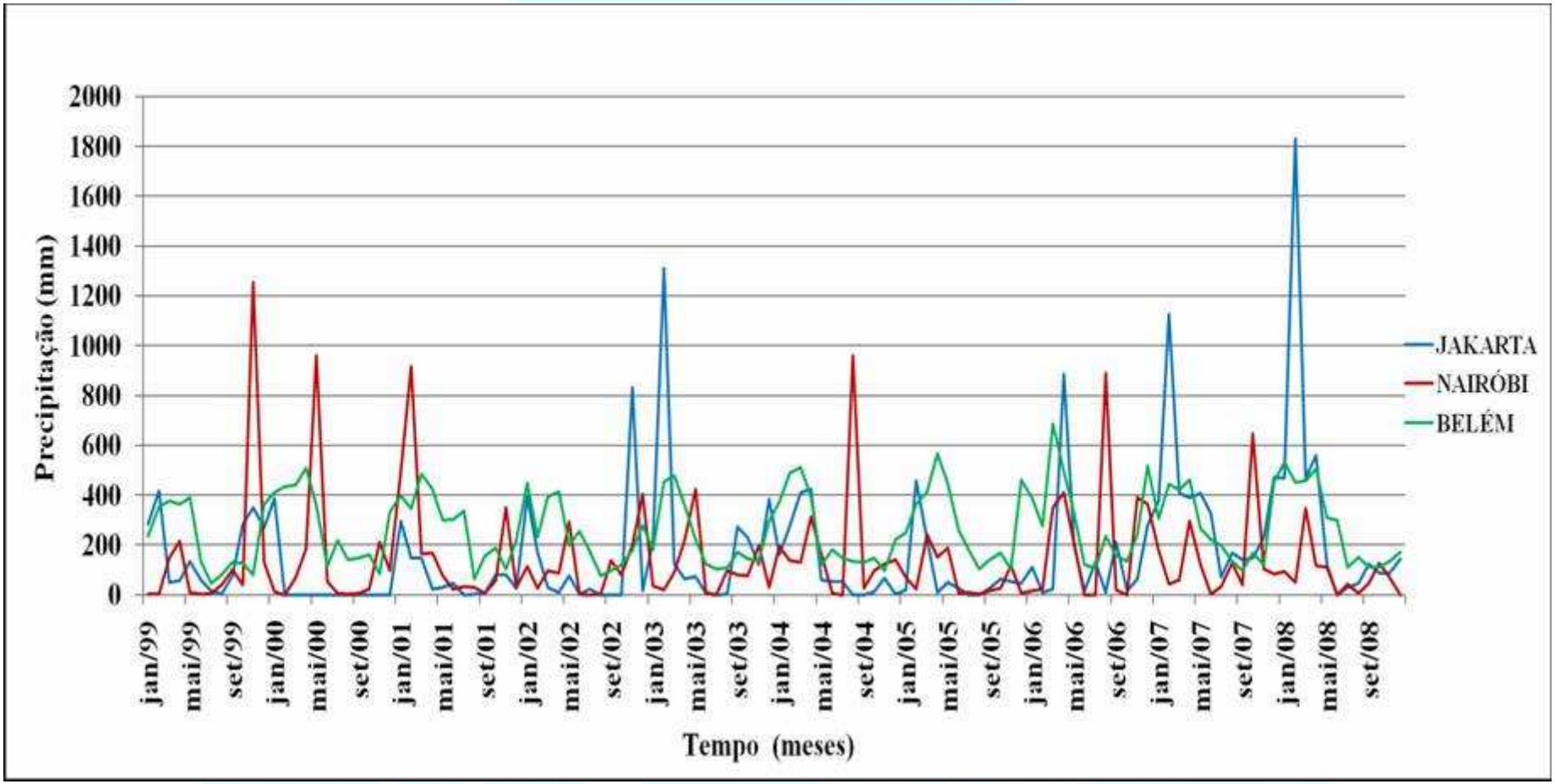

FIGURA 12: Variação tempo espaço da precipitação mensal acumulada para Belém, Nairóbi e Jakarta, durante 1999 a 2008.

A Figura 13 mostra o comportamento mensal do vento nas três cidades estudadas. No gráfico fica evidente que Nairóbi apresenta maiores valores de vento, com uma amplitude que varia 3,0 a 6,0 m/s, seguida de Jakarta e Belém, que apresentam amplitudes de velocidade média do vento bem menores.

Belém apresenta valores maiores no segundo semestre de cada ano analisado, ou seja no período seco estabelecido, com tudo observa-se uma série sem muitas variações, entre 1,0 e 2,0 m/s.

A cidade de Jakarta apresenta uma série bastante variável, com valores máximos e mínimos nos dois semestres ao longo de cada ano.

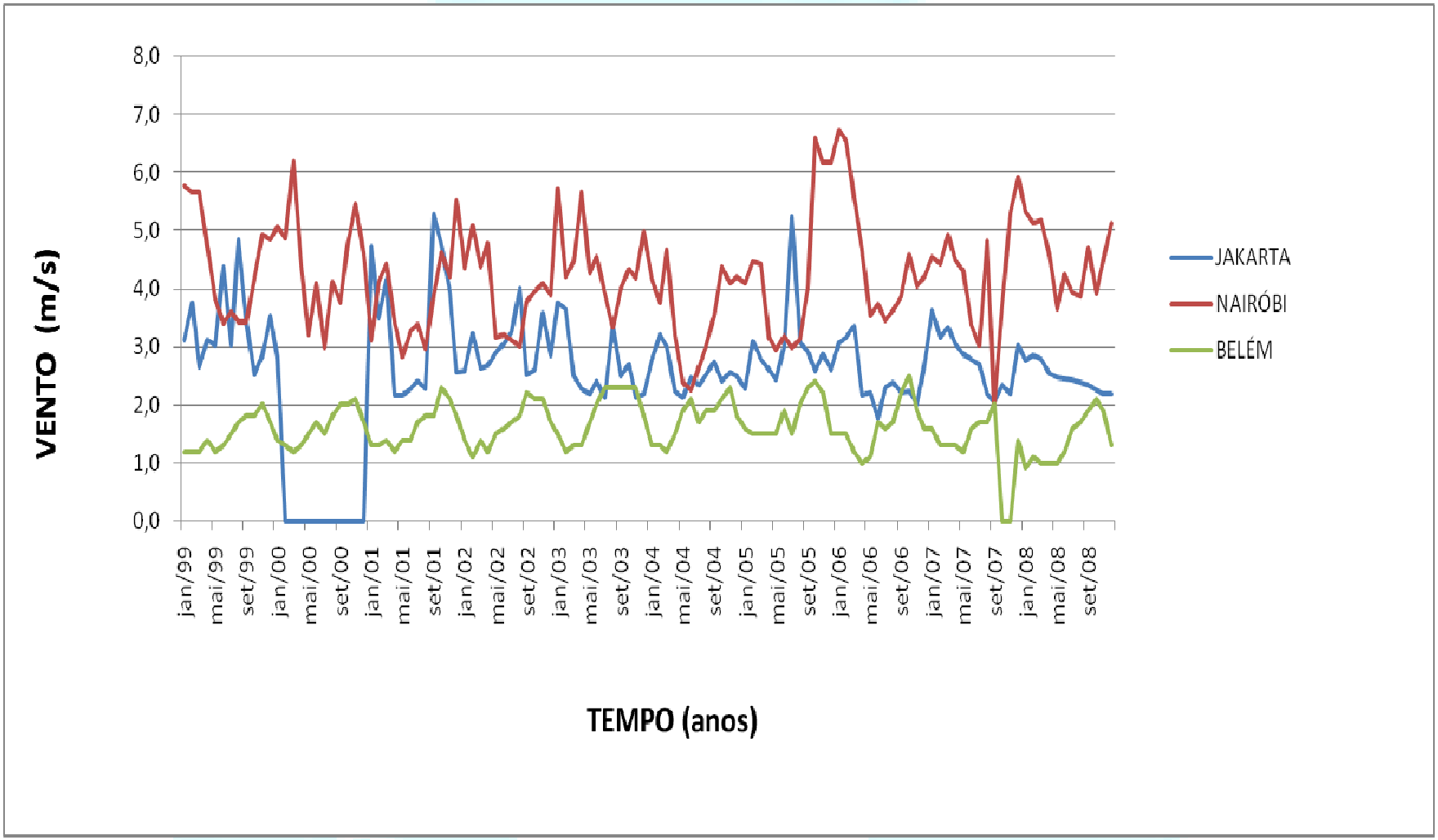

FIGURA 13: Idem a Figura 12, exceto para a velocidade do vento horizontal.

4.4 ANÁLISE DE MULTIESCALA DA PRECIPITAÇÃO MENSAL

Esta análise de multiescala da precipitação mensal para Belém, Nairóbi e Jakarta visa detectar as oscilações atmosféricas responsáveis pelo comportamento da chuva no período de 1999 a 2008. Assim, as figuras 14, 15 e 16 apresentam as séries temporais de precipitação e os escalogramas de fase da ondeleta. Os eixos y mostram as escalas relacionadas com as fases da oscilações da precipitação (azul – redução da chuva e vermelho aumento da chuva) e o eixo x à época de ocorrência dessas oscilações.

4.4.1- Belém

A figura 13a,b mostra que a precipitação mensal em Belém-Pa atinge quantitativos de até 700mm/mês e pode ser modulada por oscilações atmosféricas nas escalas em torno de 60 (5 anos), 26 (2 anos), 12 (anual), 7 (semi-anual), 3 (sazonal) e 2 (intrasazonal) meses, sendo as quatro últimas as mais energéticas. Pode-se notar ainda que os eventos de ENOS, com intensidade moderada em 02/03 (El Niño-EN) e em 07/08 (La Niña-LN) (ver tabela 1) estiveram associados com as fases de redução (aumento) de precipitação nas escalas de baixa frequência de 60 e 26 meses, respectivamente. As oscilações sazonais e intrasazonais aparecem com maior intensidade, durante os meses de setembro a maio de 07/08 na fase de LN. No entanto, estas desaparecem nos meses de maio a fevereiro de 02/03.

4.4.2 – Nairóbi

A precipitação mensal em Nairóbi apresenta grande variação temporal, principalmente em anos de ocorrência de ENOS com fraca intensidade, como por exemplo, os anos de 99/00, 00/01 e 06/07 (Figura 14a). Em geral, o escalograma de fase de ondeleta de precipitação (Figura 14b) mostra que a chuva não é modulada pelo ciclo anual. No entanto, outras oscilações de diferentes escalas estão presentes na composição da precipitação local, são elas: em torno de 40, 20, 6, 3 e 2 meses. Na maioria, estas oscilações são irregulares, ou seja, ocorrem em períodos isolados dos anos, exceto a oscilação em torno de 40 meses (3 anos).

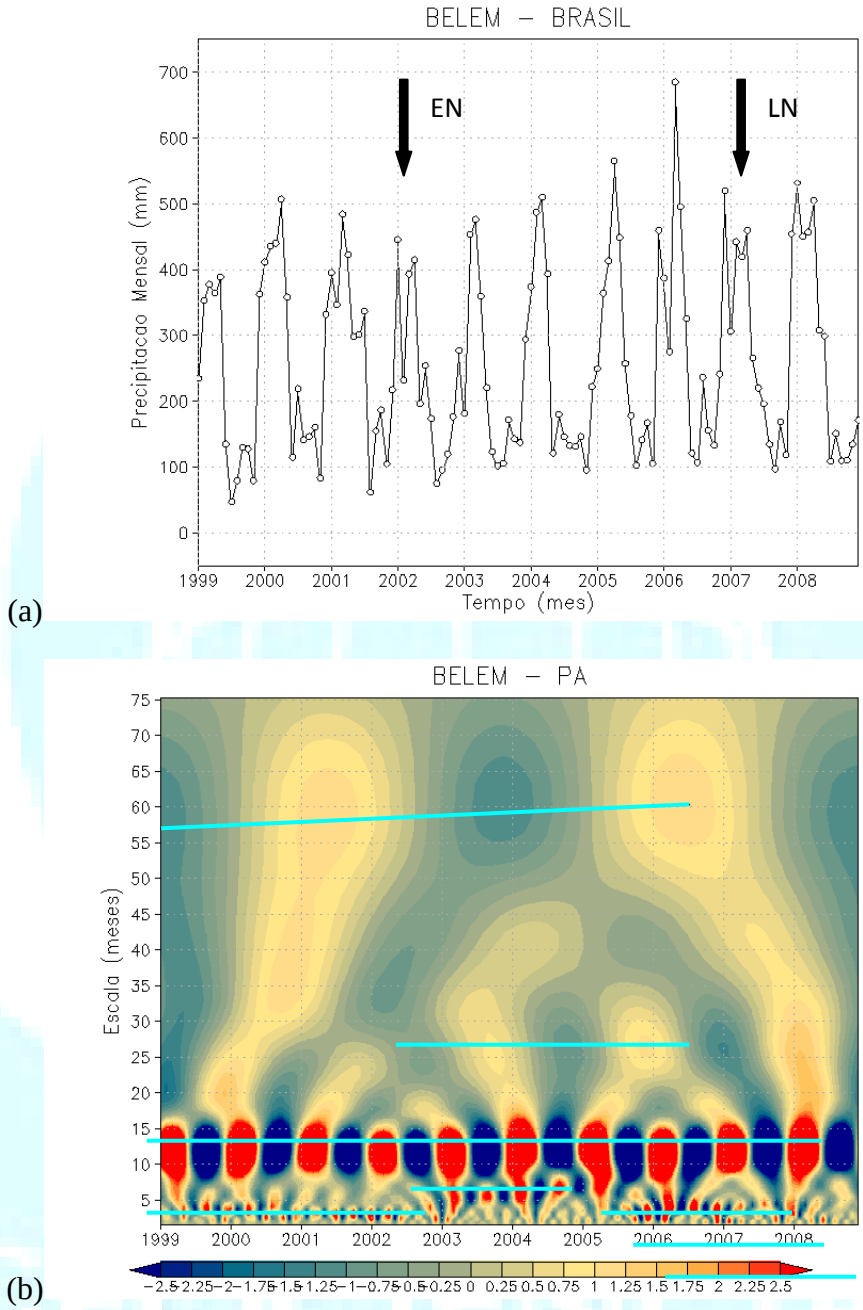

FIGURA 14: Estrutura tempo-escala da precipitação mensal para Belém – Brasil, durante 1999 a 2008. (a) série temporal da precipitação observada e (b) o escalograma de fase da ondeleta Morlet de precipitação (as cores vermelha e azul representam as fases de maior e menor precipitação, respectivamente).

4.4.3 – Jakarta

Jakarta também apresenta destacada irregularidade temporal na precipitação, com máximo mensal de 1800 mm/mês (Figura 15a). Um aspecto que pode ser observado é que os extremos

mensais estão relacionados com os episódios de ENOS, como por exemplo, na LN de 07/08 PRP de 1800 mm/mês e no EM de 02/03 algumas meses com ausência de chuva. É importante lembrar que em 2000 o zero de precipitação se deve a falta de dados no período. Diferente de Nairóbi, Jakarta apresenta um ciclo anual (12 meses) bem definido no período de 1999 a 2008. No entanto, as oscilações de precipitação nas escalas em torno de 60 (5 anos), 3 a 2 meses aparece semelhante à Belém.

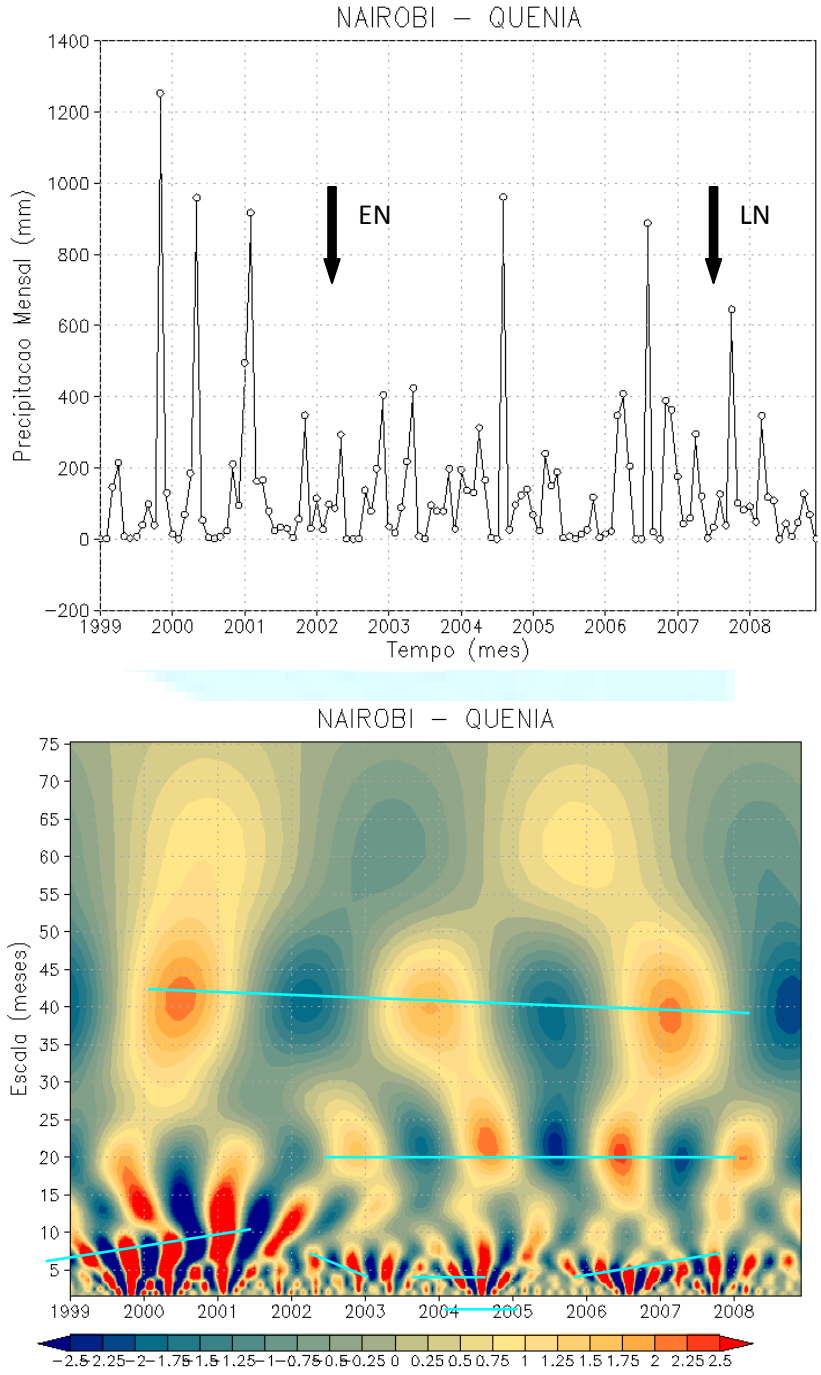

FIGURA 15: Estrutura tempo-escala da precipitação mensal para Nairóbi-Quênia, durante 1999 a 2008. (a) série temporal da precipitação observada e (b) o escalograma de fase da ondeleta Morlet

de precipitação (as cores vermelha e azul representam as fases de maior e menor precipitação, respectivamente).

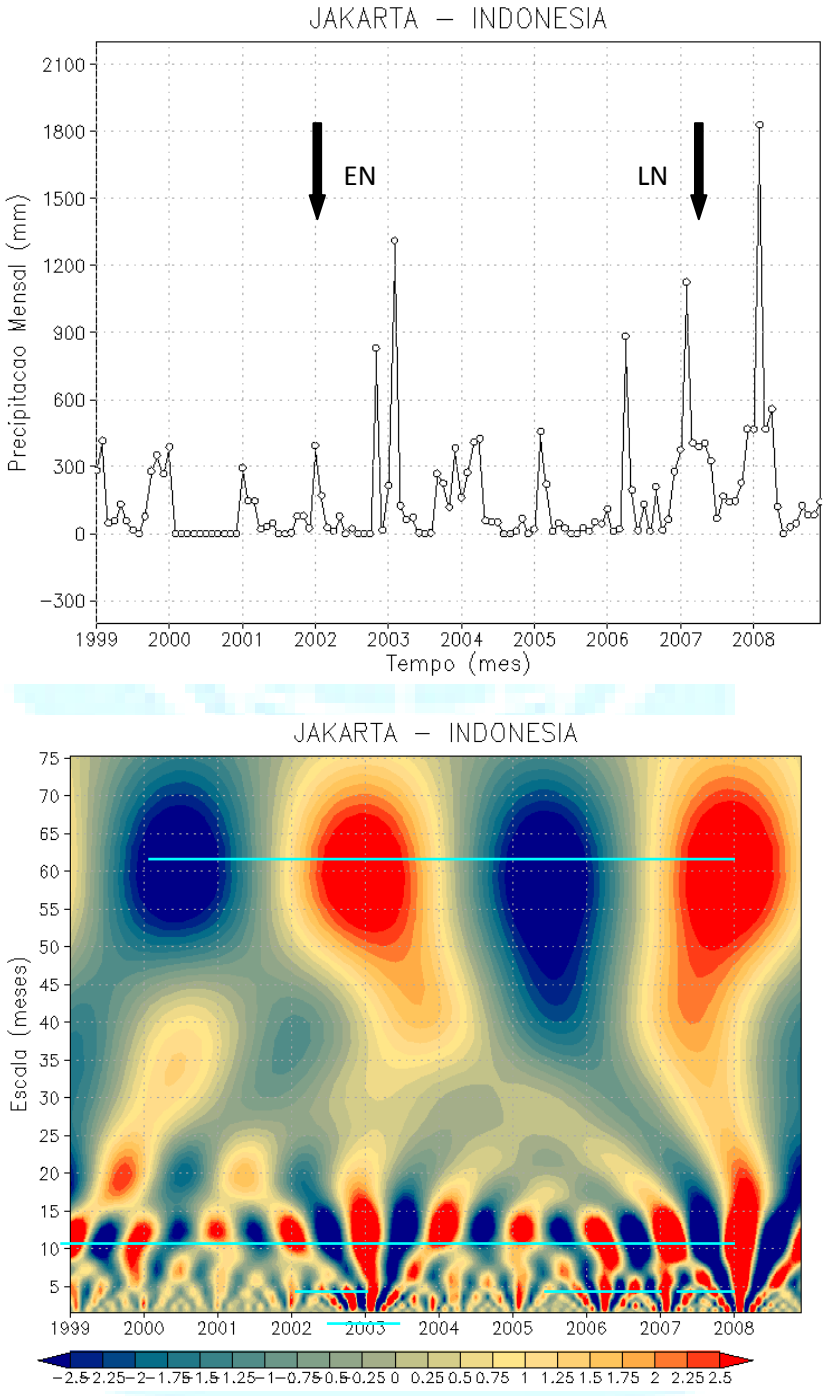

FIGURA 16: Estrutura tempo-escala da precipitação mensal para Jakarta-Indonésia, durante 1999 a 2008. (a) série temporal da precipitação observada e (b) o escalograma de fase da ondeleta Morlet de precipitação (as cores vermelha e azul representam as fases de maior e menor precipitação, respectivamente).

Em suma, observou-se que Belém e Jakarta apresentam semelhança nas escalas relacionadas com as oscilações de precipitação, com combinação de fases de aumento de chuva nas escalas de 60, 12, 3 e 2 meses. Isto sugere que a dinâmica da circulação atmosférica desde a escala intrasazonal (2 meses) a anual (60 meses - 5 anos) ocorre de modo similar, durante os anos de ENOS. Segundo Gu e Philander (1995) as circulações meridional de Hadley e a zonal de Walker são intensificadas no seu ramo ascendente em anos de LN (EN), aumentando a precipitação nas regiões da Ilha de Java (Jakarta) e no leste da Amazônia (Belém). No caso do evento de EN observa-se um deslocamento para leste dos ramos ascendentes e descendentes da célula de Walker, favorecendo a redução da nebulosidade nas regiões de Jakarta e Belém. Neste sentido, Nairóbi parece sofrer maior impacto das oscilações de PRP associadas com as escalas de 40, 20 e 6 meses. Nicholson (1993) observou que a variabilidade interanual, ou seja, aquela relacionada ao fenômeno ENOS apresenta maior forçante na modulação da precipitação local. Além disso, os efeitos locais causados pela heterogeneidade da superfície combinada com a circulação causada pela ENOS podem intensificar principalmente as fases do El Nino, com a redução da chuva.

5 CONCLUSÕES

O objetivo principal deste trabalho foi investigar e analisar a variabilidade tempo-espaço da precipitação e do vento horizontal em superfície relacionados com a atuação da Zona de Convergência Intertropical em Belém, Nairóbi e Jakarta, e seus processos convectivos de múltiplas escalas de tempo. Para isso foram utilizados dados observacionais de precipitação e vento horizontal em superfície para o período de 1999 a 2008. Com base nisso, obteu-se as seguintes conclusões:

- ✓ Em geral, o quantitativo da precipitação e a média do vento em superfície na composição da variação anual, sazonal e mensal evidencia a influência do ENOS;
- ✓ Belém apresenta maior regularidade na quantidade da chuva anual e sazonal, com relação à Jakarta e Nairóbi;
- ✓ As oscilações de múltiplas escalas de precipitação em Belém e Jakarta apresentam semelhantes escalas dos mecanismos moduladores da chuva local, inclusive o ciclo anual marcado, durante todo o período;
- ✓ Nairóbi apesar de está localizada em latitude análoga a Belém não apresenta ciclo anual. No entanto, as oscilações de escalas anual e interanual parecem determinar a precipitação local;
- ✓ Concordância com estudos anteriores, com relação a presença da oscilação intrasazonal (Madden e Julian) em anos de La Nina e ausência da mesma em anos de El Niño.

REFERÊNCIAS

ASNANI, G.C. Tropical Meteorology, Noble Printers PVT. Ltd. PUNE, India, 2v, 1993.

CARVALHO, L. M. V.; JONES, C.; LIEBMANN, B. The South Atlantic Convergence Zone: Intensity, form, persistence, and relationships with intraseasonal to interanual activity and extreme rainfall. *Journal of climate*, v. 17, p.88-108, 2004.

CITEAU, J.; BERGÉS, J.C.; DEMARCQ, H.; MAHÉ, G. Position de la zone de convergence a 28N et temperature de surface de l cean. *Veille Climatique Satellitaire,* n.21, p. 3-7, 1988a.

COHEN, J. C. P; SILVA DIAS, M. A F.; NOBRE C. A. Aspectos climatológicos das linhas de instabilidade na Amazônia. Climanálise, São José dos Campos, v. 4, n.11, p. 34-40, Nov. 1989.

COHEN, J. C. P; SILVA DIAS, M. A F.; NOBRE C. A. Environmetal conditions associated with Amazonian squall lines: a case study. *Monthy Weather Review*, Boston, v. 123, n.11, p. 3163-3174, Nov. 1995.

CORREA M. M. *Geografia Universal Marin.* 2. ed. Barcelona – Espanha: Editorial Marin, S.A., 1979.

DAUBECHIES, I. *Ten lectures on wavelets*, SIAM, Philadelphia.1990. 357 p

FARGE, M. The Wavelet Transform and its Applications to Turbulence. *Annual Review of Fluid Mechanics*, 24, 395-457. 1992

FIGUEROA, S.N.; NOBRE, C.A. Precipitions distribuitions over central and Western Tropical South America. *Climanálise – Boletim de Monitoramento e Análise Climática, 5(6): 36-45, 1990.*

GU, D.; PHILANDER, S.G.H. Secular Changes of Annual and Interannual Variability in the Tropics during the Past Century. *Journal of Climate*, 8, 4: 864-876, April. 1995.

HASTENRATH, S.; HELLER, L. Dynamics of climatic hazards in Northeast Brazil. *Quart J. Meteor. Soc.*, v.103, n. 435, p. 77-92, 1977.

HASTENRATH, S.; LAMB, P. Some aspects of circulation and climate over easter Equatorial Atlantic. *Monthly Weather Review*, v. 105, n.8, p. 1019-1023, 1977.

HENDON, H.; LIEBMANN, B. A composite study of the onset of the Australian summer monsoon. *Journal Atmospheric Sciences*, v.47, p.2227-2240, 1990.

JONES, C.; CARVALHO, L.M.V.; HIGGINS, R.W.; WALISER, D.E.; SCHEMM, J.K.E. Climatology of tropical intraseasonal convective anomalies: 1979-2002. *Journal of Climate*, v.17, p.523-539, 2004.

KRISHNAN, R.; KASKURE, S.V: Modulation of Low Frequency. Intresasonal Oscilations of Northern Summer Monson by El Niño and Southerm Oscillation (ENSO). *Meteoro. Atmos. Phys.*, 60(4), 237-257, 1996.

KOUSKY, V.E.; KAYANO, M.T. Principal Modes of outgoing Long Wave Radiation and 250-mb circulation for South American Sector. *J. Climate*,7, 1131-1143, 1994.

LAU, K.M;. CHAN, P.H. Aspects of the 40-50 day oscillation during the northern summer as inferred from outgoing longwave radiation. *Mon. Wea. Rev.*, 114, 1354-1367. 1986a.

LAU, K.M.; CHAN, P.H. Short-term Climate variability and atmospheric teleconnection as inferred from satellite derived outgoing longwave radiation. Part I: Simultaneous Correlations. *J. Atmos. Sci*., 40, 2735-2750. 1983.

MADDEN R.A.; JULIAN, P.R. Observations of the 40-50 day tropical oscillation - *review. Mon. Wea. Rev*., 122, 814-837, 1994.

MATTHEWS, A.J.; KILLADIS, G.N. The Tropical-Extratropical Interaction between Hing-Frequency Transients and the Madden-Julian Oscillation. *Mon.Wea.Rev.*, 127, 661-677. 1999.

MENDONCA. F.; DANNI-OLIVEIRA I. M. Climatologia noções básicas e climas do Brasil. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

MOLION, L. C. B. Climatologia dinâmica da região amazônica: mecanismos de precipitação. *Revista Brasileira de Meteorologia*, Rio de Janeiro, n. 2, p. 107-117, dez. 1987.

MOTA, M. A. S.; MENDONÇA, M. A. Avaliação do esquema de convecção RAS utilizando o modelo CGM do CPTEC. In: CONFERÊNCIA CIENTÍFICA do LBA, 3., 2004, Brasília, DF. *Anais...* Brasília, DF: [s.n.], 2004. 1 CD-ROM.

MOURA, A.D.; SHUKLA, J. On the dynamic of droughts in Northeast Brazil: Observations theory and numerical experiments with a general circulation model. *J. Atmos. Sci*, 38, 2653-2675, 1981.

NICHOLSON, S.E. *A Review of Climate Dynamics and Climate Variability in Eastern Africa*, 1993. Departament of Meteorology, Florida state University, Tallahassee, Florida, United States.

PHILANDER, S.G. *El Niño, La Niña, and the Southern Oscillation*. Academic press, INC. San Diego, California, 1990.

RAMAGE, C. S. *Monsoon Meteorology*. New York: Academic Press, 1971. 296p.

RASMUSSON, E.M.; ARKIN, P.A. *Inmteranual climate variability associated with the El Niño/ Southerm Oscilation*. Coupled Ocean-Atmosphere Models, J.C.J. Nihaud Ed., Elsevier, 289-302, 1985.

ROPELEWSKI, C. F.; HALPERT, M. Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño/Southern Oscillation. *Montlhy Weather Review*, v.115, p.1606-1626. 1997.

SOUZA, E. B.; AMBRIZZI, T. Modulation of the intraseasonal rainfall over tropical Brazil by the Madden-Julian oscillation. *International Journal of Climatology*, v. 26, p. 1759-1776, 2006.

TORRENCE, C.; COMPO, G.P. A practical guide to wavelet analysis. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 79, p.61-78, 1998.

UVO, C. B. *A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e sua relação com a precipitação na região norte do Nordeste brasileiro*. 1989. 88f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais -INPE. São José dos Campos-SP, 1989.

VITORINO, M.I. *Oscilações intrasazonais sobre a América do Sul e Oceanos Adjacentes Utilizando a Análise de Ondeletas*. 2003. Tese (Doutorado) - INPE 9822 - TDI/865, SP, 2003.

VITORINO, M.I.; DIAS, P.L.S; FERREIRA, N.J. Observational study of the seasonality of the submonthly and intraseasonal signal over the tropics. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 94, p.17-35. 2006.

WEICKMAN, K.M.; LUSSKY, G.R; KUTZ BACH, J.E. Intraseasonal (30-60 Day) Fluctations of Outgoing Long Wave Radiation and 250 mb Strem function During Northerm Winter. *Amer. Meteor. Soc.*, 113, p. 941-961, 1985.

WALISER, E. W. C.; GAUTIER, C. A Satellite-derived Climatology of the ITCZ. *Journal of Climate*, 6. p.2162-2174. 1993.

WENG, H.; LAU, K.M. Wavelet, period doubling, and time-frequency localization with application to organization of convection over the tropical western Pacific. *J.Atmos.Sci.*, 51, p. 2523-2541, 1994.