



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
FACULDADE DE METEOROLOGIA



TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

JUAREZ VENTURA DE OLIVEIRA

***ANÁLISE DAS OSCILAÇÕES ATMOSFÉRICAS DE
MULTIESCALAS DE TEMPO EM CAXIUANÃ-PA***

**GEOCIÊNCIAS
UFPA**

268

Belém - PA
Janeiro-2010

JUAREZ VENTURA DE OLIVEIRA

***ANÁLISE DAS OSCILAÇÕES ATMOSFÉRICAS DE
MULTIESCALAS DE TEMPO EM CAXIUANÃ-PA***

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Faculdade de Meteorologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará - UFPA, em cumprimento às exigências para a obtenção do grau superior de Bacharel em Meteorologia.

Orientador: Prof^o. Maria Isabel Vitorino

Belém - PA
Janeiro-2010

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

O48a Oliveira, Juarez Ventura de

Análise das oscilações atmosféricas de multiescalas de tempo em Caxiuanã-Pa / Juarez Ventura de Oliveira; Orientador: Maria Isabel Vitorino – 2010

f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Meteorologia) – Faculdade de Meteorologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, Quarto Período de 2009.

1. Sistema local. 2. Oscilações atmosféricas. 3. Sistemas atmosféricos. 4. Caxiuanã (PA). I. Universidade Federal do Pará. II. Vitorino, Maria Isabel, *orient.* III. Título.

CDD 20° ed.: 551.5185098115

JUAREZ VENTURA DE OLIVEIRA

***ANÁLISE DAS OSCILAÇÕES ATMOSFÉRICAS DE
MULTIESCALAS DE TEMPO EM CAXIUANÃ-PA***

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:

Prof. Maria Isabel Vitorino – Orientador
Doutor em Meteorologia
Universidade Federal do Pará

Prof. Leonardo Daene de Abreu Sá- Membro
Doutor em Meteorologia
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

Prof. Adriano Marlisom L. Sousa- Membro
Doutorando em Recursos Hídricos
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Instituto de Pesquisas Hidráulicas

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família, sem eles eu não teria chegado onde estou agora.

A Prof. Maria Isabel Vitorino por ter me guiado neste trabalho e ao Prof. Leonardo Sá pelas sugestões relevantes nas análises de multiescalas.

As pessoas que trabalham no projeto LBA, no Museu Paraense Emilio Goeldi, pelo fornecimento dos dados e auxílio na organização dos mesmos.

A todos meus amigos que colaboraram comigo, me ajudando de forma direta e indireta, auxiliando a me manter no caminho certo.

RESUMO

Os fenômenos atmosféricos são deveras importantes para a vida dos seres vivos, por isso merecem ser estudados de varias formas possíveis. Este trabalho de caráter pioneiro para região amazônica visa investigar a associação entre estes vários fenômenos nas diferentes escalas temporais. Para isso, foi feita a análise de tempo-escala da temperatura do ar, da umidade relativa e da velocidade do vento horizontal, aplicando a transformada em ondeletas para os dados horários do ano de 2008, coletados na torre micrometeorológica de Caxiuanã. A análise geral do escalograma da energia da temperatura do ar e da umidade relativa mostrou que o ciclo diurno se destaca, sendo a escala mais energética na banda de 2 horas . No entanto, durante a estação chuvosa ele é descontínuo, devido à presença de nebulosidade. Os escalogramas do vento horizontal mostram diferenças marcantes entre a estação seca e chuvosa, enquanto que o gradiente térmico é maior na primeira, a velocidade do mesmo aumenta e a quantidade de picos de energia também sofre acréscimo considerável. Os estudos de caso comprovaram a diferença entre as estações. O Caso I (período chuvoso) revelou que os sistemas de grande escala são mais atuantes do que os sistemas de alta frequência; as imagens de satélite e as cartas sinóticas confirmam a atuação deles na região. Já durante o Caso II (período seco), a alta frequência se torna mais relevante para a determinação do tempo, os escalogramas de fase mostram maior intensidade na energia na escala diurna e semi – diurna. Futuros estudos, utilizando metodologias diferentes, uma serie maior de dados do mesmo local ou de locais diferentes, forneceram informações valiosas que ajudaram no estudo dos moduladores de tempo e clima da região de Caxiuanã – PA.

Palavras-chave: Sistema local, oscilações atmosféricas, sistemas atmosféricos, Caxiuanã (PA).

ABSTRACT

The atmospheric phenomena are very important to maintain life, because they must be study in many different ways. This work, the first of this kind done to the Amazon, investigates the link between those different phenomenons on the different time scales. For that, a spectral analysis of air temperature, relative humidity, horizontal wind and net radiation were done, using the wavelet transform into the data collected on Caxiuanã's micrometeorological tower during 2008. The general analysis of the energy scalegram reveled that the diurnal cycle is the most energetic scale, that during the wet season it appears with many gaps, due to many interruption on solar radiation caused by the formation of clouds. On the wind scalegram there is significant difference between the dry and wet seasons. On the first one, the gradient is bigger causing a higher wind speed, and an increasing on the number of energy spots. The case studies show the difference between both seasons. Case I (wet period) reveled that some large scale systems were acting and reducing the activity of those of high frequency, as the satellite images and synoptic charts confirmed that results. On Case II (dry period) the high frequency became more important, as the large scale were not present at this time, the phase scalegram shows more energy inside the diurnal and semi – diurnal cycle. Further studies like this one, using different methodologies, a big time series or from others places, will provide us with valuable information that are going to help on the understanding of the local weather and climate modulators.

Key words: Local systems, atmospheric oscillations, atmospheric systems, Caxiuanã (PA).

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Representação da célula de Walker, tsm e termoclina durante El Niño e La Niña.....	15
Figura 2: Locais de formação do El Niño.....	16
Figura 3: Anomalia média de IOS.....	17
Figura 4: Temperatura da superfície do mar para as diferentes regiões do Niño.....	18
Figura 5: Propagação da OMJ sobre o Pacífico tropical, a partir da velocidade potencial (azul-favorável; vermelho – desfavorável)	19
Figura 6: Regiões onde foram observadas OL	20
Figura 7: Posicionamento médio da ZCIT	21
Figura 8: Imagem de satélite mostrando a ZCIT.....	22
Figura 9: Esquemática do sistema de brisas. A esquerda brisa marítima ou lacustre, a direita brisa terrestre	23
Figura 10: Propagação da Linha de Instabilidade estudada por Cohen (1995).....	24
Figura 11: LI sobre a região norte do Brasil, as 20:45 TMG do dia 22/08/2008.....	24
Figura 12: Esquemática de um SF	25
Figura 13: Imagem de satélite, no canal IR.....	26
Figura 14: Imagem de satélite mostrando um evento de ZCAS nos dias 12, 13, 14 e 15 de dezembro de 2005. (Canal visível).....	27
Figura 15: Esquemática da torre micrometeorológica presente em Caxiuanã e seus instrumentos.....	30
Figura 16: Escalograma de fase da temperatura do ar (Caso I – de 2 a 5 de fevereiro de 2008).....	39
Figura 17: Escalograma de fase da UR (Caso I – de 2 a 5 de fevereiro de 2008).....	40
Figura 18: Escalograma de fase do vento zonal (Caso I – de 2 a 5 de fevereiro de 2008).....	42
Figura 19: Escalograma de fase do vento meridional (Caso I – de 2 a 5 de fevereiro de 2008).....	43
Figura 20: Imagens de satélite para os dias 2, 3, 4 e 5 de fevereiro, as 14:45z (Canal: IR).....	45
Figura 21: Cartas sinóticas para os dias 2, 3, 4 e 5 de fevereiro de 2008	45
Figura 22: Escalograma de fase de Temperatura do ar (Caso II – de 4 a 7 de novembro de 2008).....	48

Figura 23: Escalograma de fase de UR. (Caso II – de 4 a 7 de novembro de 2008).....	49
Figura 24: Escalograma de fase do vento zonal (Caso II– de 4 a 7 de novembro de 2008).....	50
Figura 25: Escalograma de fase do vento meridional (Caso II– de 4 a 7 de novembro de 2008).....	51
Figura 26: Imagens de satélite para os dias 4, 5, 6 e 7 de novembro de 2008.....	52
Figura 27: Cartas sinóticas para os dias 4, 5, 6 e 7 de novembro de 2008	53
Gráfico 1: Precipitação na torre de Caxiuanã (de 2 a 5 de fevereiro de 2008).....	41
Gráfico 2: Precipitação na torre de Caxiuanã (de 4 a 7 de novembro de 2008).....	51
Quadro 1: Valores relativos a temperatura do ar para o ano de 2008. a) representa as flutuações; b) a energia do sinal associada a temperatura do ar; c) espectro global da ondeleta.....	33
Quadro 2: Valores relativos a umidade relativa do ar para o ano de 2008. a) representa as flutuações; b) a energia do sinal associada a umidade relativa; c) espectro global da ondeleta.....	33
Quadro 3: Valores relativos a componente "u" do vento para o ano de 2008. a) representa os valores de “u”; b) a energia do sinal associado a “u”; c) espectro global da ondeleta.....	35
Quadro 4: Valores relativos a componente "v" do vento para o ano de 2008. a) representa os valores de “v”; b) a energia do sinal associado a “v”; c) espectro global da ondeleta.....	35
Quadro 5: Valores relativos ao saldo de radiação o para o ano de 2008. a) representa as flutuações; b) a energia do sinal associada ao saldo de radiação; c) espectro global da ondeleta.....	36
Quadro 6: Valores relativos a temperatura do ar. a) representa as flutuações; b) a energia do sinal associada a temperatura do ar; c) espectro global da ondeleta.....	39
Quadro 7: Valores referentes a umidade relativa do ar. a) representa as flutuações; b) a energia do sinal associada a umidade relativa; c) espectro global da ondeleta.....	40
Quadro 8: Valores relativos a componente "u" do vento. a) representa os valores de “u”; b) a energia do sinal associada a “u”; c) espectro global da ondeleta.....	41
Quadro 9: Valores relativos a componente "v" do vento. a) representa os valores de “v”; b) a energia do sinal associada a “v”; c) espectro global da ondeleta.....	42
Quadro 10: Valores relativos temperatura do ar. a) representa as flutuações; b) a energia do sinal associada a temperatura do ar; c) espectro global da ondeleta.....	47

Quadro 11: Valores relativos a umidade relativa do ar. a) representa as flutuações; b) a energia do sinal associada a temperatura do ar; c) espectro global da ondeleta.....48

Quadro 12: Valores relativos a componente "u" do vento. a) representa os valores de "u"; b) a energia do sinal associado a "u"; c) espectro global da ondeleta.....49

Quadro 13: Valores relativos a componente "v" do vento. a) representa os valores de "v"; b) a energia do sinal associado a "v"; c) espectro global da ondeleta.....50

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

- CPC:** Climate Prediction Center
- CPTEC:** Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
- DOL:** Distúrbios Ondulatórios de Leste
- ENOS:** El Niño Oscilação Sul
- IAC:** Índice de Anomalia de Chuva
- IOS:** Índice Oscilação Sul
- IR:** Infravermelho
- LI:** Linha de Instabilidade
- OMJ:** Oscilação Madden – Jullian
- RN:** Saldo de Radiação
- SCM:** Sistema Convectivo de Mesoescala
- SF:** Sistema Frontal
- SMM:** Serviço Meteorológico Marinho
- TSM:** Temperatura da Superfície do Mar
- TO:** Transformada em Ondeletas
- UR:** Umidade Relativa
- VCAN:** Vórtice Ciclônico de Altos Níveis
- ZCAS:** Zona de Convergência do Atlântico Sul
- ZCIT:** Zona de Convergência Intertropical

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	OBJETIVOS.....	14
2	ELEMENTOS TEORICOS.....	15
2.1	EL NIÑO OSCILAÇÃO SUL (ENOS).....	15
2.2	OSCILAÇÃO MADDEN – JULLIAN (MJO).....	18
2.3	DISTURBIOS ONDULATORIOS DE LESTE (DOL)	19
2.4	ZONA DE CONVERGENCIA INTERTROPICAL (ZCIT)	20
2.5	BRISAS	22
2.6	LINHAS DE INSTABILIDADE (LI).....	23
2.7	SISTEMA FRONTAL (SF)	25
2.8	ZONA DE CONVERGENCIA DO ATLANTICO SUL (ZCAS)	26
3	SITIO EXPERIMENTAL	28
4	DADOS E METODOLOGIA.....	29
5	RESULTADOS	31
5.1	RESULTADOS GERAIS.....	32
5.2	ESTUDO DE CASO	37
5.2.1	Caso I (Chuvoso).....	37
5.2.2	Caso II (Seco)	46
6	CONCLUSÕES.....	54
	REFERÊNCIAS.....	56

1 INTRODUÇÃO

A atmosfera apresenta vários sistemas e mecanismos distintos que atuam em diferentes escalas temporais e espaciais, e como forma de organização destes elementos e até como forma de ajudar na classificação e identificação destes foram criados vários grupos de escalas temporais e espaciais, como por exemplo: microescala, mesoescala, sinótica, mensal e intrasazonal, entre outras. Para a meteorologia, é de fundamental importância ter noção destas escalas individualmente, no entanto, também é de fundamental importância estudar estas escalas como um todo. A interação entre estas várias escalas influencia desde os fenômenos de alta frequência até aqueles de menor frequência, fortalecendo-os, enfraquecendo-os ou até inibindo o seu desenvolvimento.

Para esta análise de múltiplas escalas temporais, foi aplicada a série de dados meteorológicos coletados pela torre micrometeorológica de Caxiuanã – PA uma ferramenta desenvolvida na França por Meyer (1990) chamada de Transformada em Onduletas (TO), na língua portuguesa. Esta ferramenta permite ao usuário uma visão em tempo e escala das várias oscilações do sinal atmosférico estudado (TORRANCE; COMPO, 1998).

Alguns estudos utilizando a TO já foram realizados no Brasil. Silva et al (1990) utilizou esta transformada em uma série de dados de IAC (índice de anomalia de chuva), concluindo que a variabilidade na precipitação é definida por múltiplas escalas temporais. Pontes et al (2006) investigou alguns casos de precipitação intensa em Rondônia, concluindo que os sistemas atuantes durante o período de estudo ocorreram em diferentes fases da oscilação intra-sazonal, entrando em concordância com a escala local e a grande escala em certas ocasiões. Vitorino e Dias (2004) utilizaram o sinal atmosférico da temperatura do ar para evidenciar a variabilidade das múltiplas escalas de tempo em São Paulo. Eles mostraram que existe uma grande variação de escalas e de intensidade de energia com o tempo neste parâmetro atmosférico.

Este trabalho visa à identificação e a caracterização das múltiplas escalas atmosféricas para o sinal de algumas variáveis atmosféricas coletada na Floresta Nacional de Caxiuanã-PA. Neste estudo inovador, procurou-se identificar as principais escalas atmosféricas atuantes, atribuindo a elas os sistemas e mecanismos meteorológicos que caracterizam o clima da região.

1.1 OBJETIVOS

- Aplicar transformada em ondeletas à série de dados micrometeorológicos da Torre de Caxiuana-Pa;
- Investigar a conexão existente entre as várias escalas atmosféricas;
- Determinar as escalas mais energéticas no período de dados;
- Relacionar os resultados obtidos com a análise sinótica de alguns eventos meteorológicos;

2 ELEMENTOS TEORICOS

Os sistemas e mecanismos atmosféricos apresentados nesta seção servirão de base para análise de tempo-escala e sinótica das oscilações observadas a partir dos sinais micrometeorológicos em Caxiuana-Pa por estarem relacionados direta ou indiretamente com região de estudo.

2.1 EL NIÑO OSCILAÇÃO SUL (ENOS)

Um dos mecanismos moduladores mais importantes que atuam na região amazônica é o El Niño Oscilação Sul, um fenômeno de caráter interanual acoplado oceano-atmosfera responsável por causar períodos de excesso ou escassez de chuva. No que diz respeito à parte atmosférica, tem-se o Índice de Oscilação Sul (IOS) e a parte oceânica é representada pelo El Niño, ou seja, por anomalias de temperatura da superfície do mar (TSM). Neste caso, o oceano Pacífico, mais precisamente na sua região tropical.

O ENOS é o aquecimento ou resfriamento anômalo das águas do Pacífico equatorial. Muitos aspectos físicos por trás deste fenômeno continuam sem solução, no entanto, os avanços que já foram feitos tornaram possível a previsão deste evento com uma antecedência de até seis meses (COBB, 2003). Ele pode se apresentar de duas formas: La Niña (fase negativa da TSM) e o El Niño (fase positiva da TSM), e cada uma interfere de uma maneira na circulação atmosférica e no oceano.

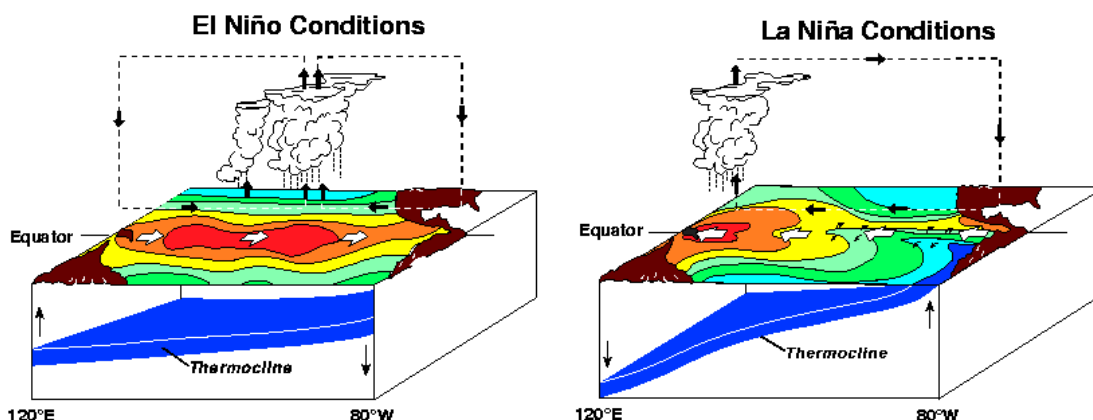


Figura 1: Representação da célula de Walker, TSM e termoclina, durante El Niño e La Niña
 Fonte: ENOS, 2009

Na *Figura 1*, pode-se ver a diferença entre as fases. Na fase positiva, a TSM

sobre a região tropical do oceano esta maior, um ramo ascendente da célula de Walker se forma no oceano e dois ramos descendente, um próximo a Oceania e outro na região da Amazônia. Devido esta mudança, o sentido dos ventos alísios também sofre alteração, originalmente de leste, passam a ser de oeste. A termoclina (local de maior gradiente térmico no oceano) tende a descer mais para o fundo na região oeste, devido ao acúmulo de águas mais quentes nesta área. Esta configuração é responsável pela redução das chuvas na Amazônia, pois o ramo descendente que se forma sobre a região, desfavorece a convecção, logo a formação de nuvens passa a ser prejudicada, pois as mesmas se originam devido o movimento ascendente do ar que transporta umidade para a formação das nuvens. Durante a fase negativa, a célula de Walker não sofre alteração e sim uma intensificação. Com o resfriamento anômalo da região oeste do pacífico equatorial, os ventos alísios de leste se fortalecem, “empilhando” mais água sobre a chamada “piscina quente”, localizada próxima a Oceania. Com isso, os ramos ascendentes se fortalecem sobre a Amazônia e Oceania, favorecendo o aumento da precipitação. Outra consequência da La Niña é a intensificação de outra célula atmosférica, a célula de Hadley, aumentando a velocidade dos jatos em altos níveis, dificultando a entrada de sistemas frontais no continente. Este fenômeno apresenta diferentes áreas de atuação no oceano Pacífico Equatorial, são eles: Niño 1+2, Niño 3, Niño 3.4 e Niño 4, como mostra a *Figura 2* abaixo:

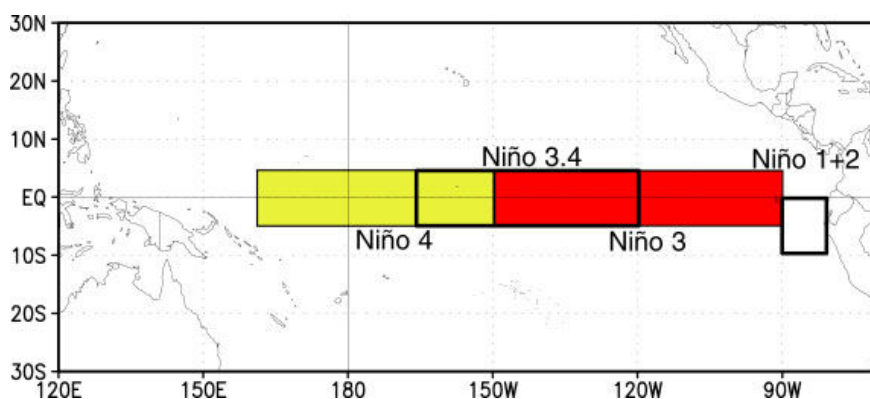


Figura 2: Locais de formação do El Niño.

Fonte: Niño, 2009.

O IOS é uma “balança barométrica” primeiramente documentada por Walker e Bliss (1932, 1937). Este índice é obtido a partir da diferença entre as pressões ao nível médio do mar do Tahiti (17,5S – 149,6W), sobre o oceano Pacífico, e a ilha de

Darwin (12,4S – 130,9E), localizada ao norte da Austrália. Durante um período de IOS positivo, a pressão sobre o Tahiti está mais alta do que em Darwin, indicando que o movimento descendente está se intensificando sobre esta região, enquanto que no norte da Austrália, o movimento ascendente do ar se fortalece, logo, é de se esperar um evento de La Niña, o inverso caracterizando El Niño (*Figura 3*)

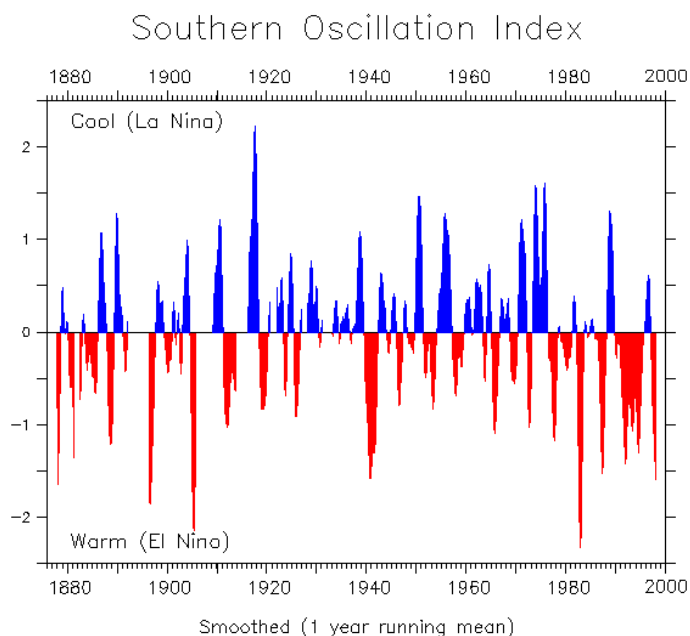


Figura 3: Anomalia média de IOS para 1850-2000

Fonte: IOS, 2009.

De acordo com informações obtidas pelo Climate Prediction Center (CPC), o ano de 2008 apresentou anomalia de TSM negativa, em torno de 2°C (*Figura 4*) em todas as regiões do Niño, e IOS positivo (pressão no Tahiti maior do que em Darwin). Com essas informações, pode-se dizer que o ano de 2008 foi influenciado por um evento de La Niña, apresentando precipitação acima da normal climatológica no norte e nordeste do Brasil.

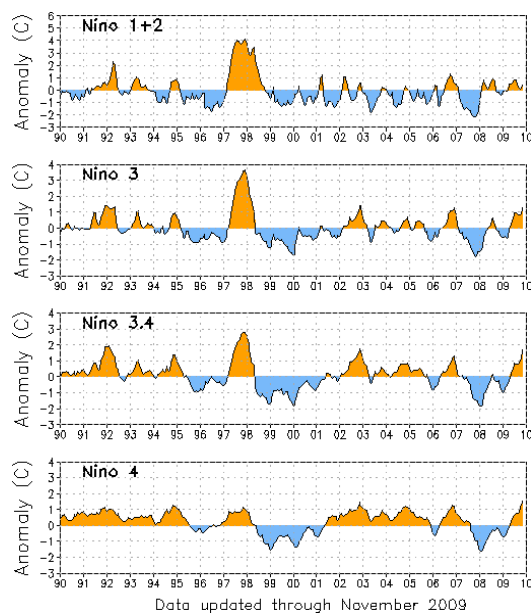


Figura 4: Temperatura da superfície do mar para as diferentes regiões do Niño, durante 1990-2009.

2.2. Oscilação Madden-Julian (OMJ)

A Oscilação Madden – Julian é uma onda troposférica de baixa frequência que se desloca para leste pelos trópicos em um período de 40 a 50 dias dentro dos campos de temperatura, pressão e vento zonal (MADDEN; JULIAN, 1971). Além disso, Madden e Julian concluíram que esta oscilação é uma grande célula de circulação zonal, tendo como principal mecanismo de movimento a convecção profunda. Matthews (1999) em seu estudo sugere dois mecanismos responsáveis pela movimentação para leste da OMJ. O primeiro está relacionado a características locais sobre a chamada “piscina quente” do Pacífico, quando anomalias de convecção aparecem sobre o oeste do Pacífico e inicia uma anomalia de sinal oposto via a resposta da onda de Rossby, se expandindo para este através da onda equatorial de Kelvin. O segundo mecanismo diz respeito à anomalia de pressão ao nível médio do mar que se propaga para este como uma onda de Kelvin equatorial seca, dando a volta ao redor do globo, coincidindo com o início de outro ciclo da OMJ.

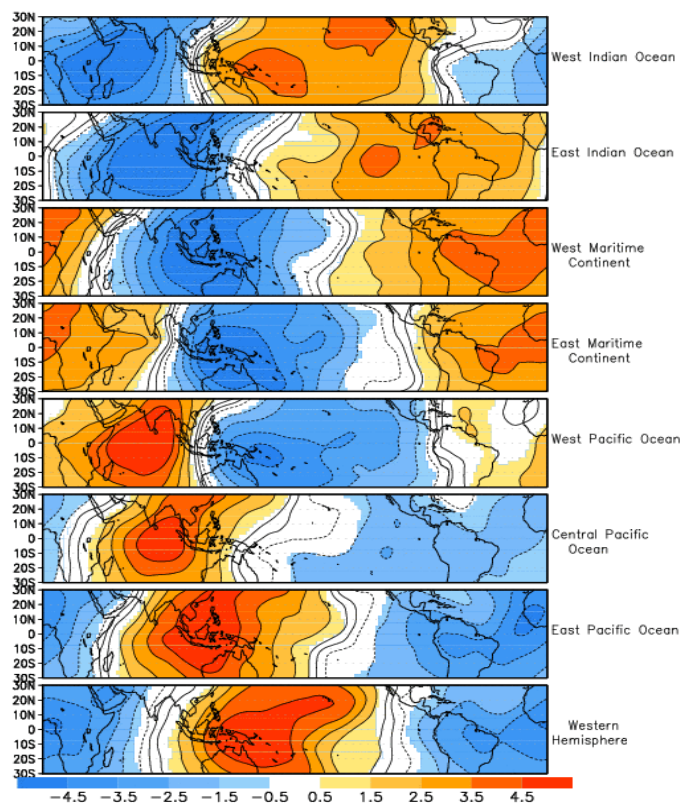


Figura 5: Propagação da OMJ sobre o Pacífico tropical, a partir da velocidade potencial (azul-favorável; vermelho – desfavorável)

Fonte: OMJ, 2009. www.cpc.noaa.gov

Esta oscilação é um importante modulador de tempo e clima na região amazônica (*Figura 5*). Souza e Ambrizzi (2006) estudaram a modulação da precipitação no Brasil, devido a OMJ e observaram que esta oscilação intrasazonal é responsável pelo aumento da precipitação sobre a Amazônia, interagindo com os sistemas responsáveis por variações submensais, a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) (SOUZA *et al.*, 2005). Vitorino (2003) e Vitorino *et al.*, (2006) mostraram através da aplicação da TO Morlet aos campos de pressão ao nível médio do mar, radiação de onda longa emergente e vorticidade relativa em altos níveis, que esta oscilação influencia de forma distinta cada sub-região do Brasil.

2.3. DISTÚRBIOS ONDULATÓRIOS DE LESTE (DOL)

Os Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOL) ou simplesmente Ondas de Leste

(OL) são perturbações nos campos de vento e pressão, em baixos níveis, ocorrendo a partir da costa oeste do continente africano, percorrendo a região tropical e variando a sua estrutura de região para região (RIEHL, 1945; BERRY et al, 1945). Para o Atlântico Sul, Yamazaki e Rao (1977) identificaram ondas com comprimento de 4.000 Km em um período de 4 a 5 dias, durante os meses de Junho, Julho e Agosto (inverno no hemisfério sul).

Os DOL possuem sua origem localizada na costa oeste da África. Jatos de leste se formam em torno de 700mb, devido a forte zona baroclínica entre o Sahara e a África Equatorial. Os DOL se originam na região onde o fluxo zonal é instável, ao sul do núcleo destes jatos, como foi mostrado no estudo de Burpee (1972), sugerindo também, que estas ondas retiram energia do cisalhamento vertical e horizontal do vento.

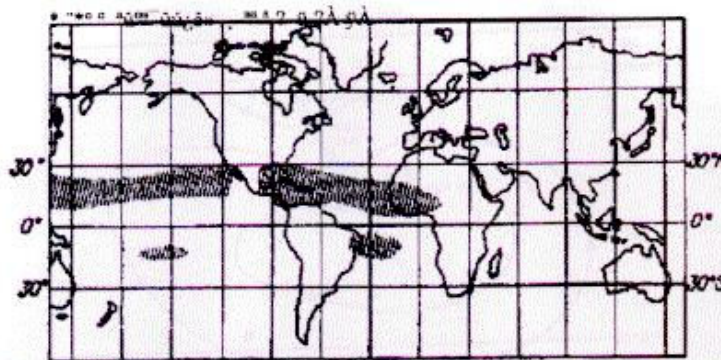


Figura 1 – Regiões onde observa-se ou há indícios de propagação de ondas de leste. Berry et. al. (1945)

Figura 6: Regiões onde foram observadas os DOL

Fonte: BERRY et al 1945

Os DOL apresentam pequena amplitude, em comparação aos cavados e cristas da região tropical, e devido a sua imersão no escoamento de leste, não apresentam características uniformes. Esses dois fatores, associados à falta de dados nos trópicos tornam difícil o estudo dos DOL. No entanto, existem alguns métodos para a realização destes estudos que podem ser feitos através de imagens de satélites, análises espectrais e composição de cartas sinóticas.

2.4. ZONA DE CONVERGÊNCIA INTERTROPICAL (ZCIT)

Um dos principais sistemas moduladores do tempo e do clima na região amazônica é a Zona de Convergência Intertropical, formada no ramo ascendente da

célula de Hadley, região de confluência dos ventos alísios. Ela acompanha o movimento aparente do Sol, se deslocando em média entre 10° N e 5° S. A ZCIT começa a se deslocar para o hemisfério sul, durante a primavera e atinge a sua máxima posição sul no final do verão, em Março, como foi mostrado por Hastenrath e Lamb (1977). Além disso, a ZCIT está relacionada com oscilações na escala de 15-20 dias (VITORINO, 2003). Na *Figura 7* é mostrado o posicionamento médio da ZCIT no globo terrestre, durante o verão de cada hemisfério.

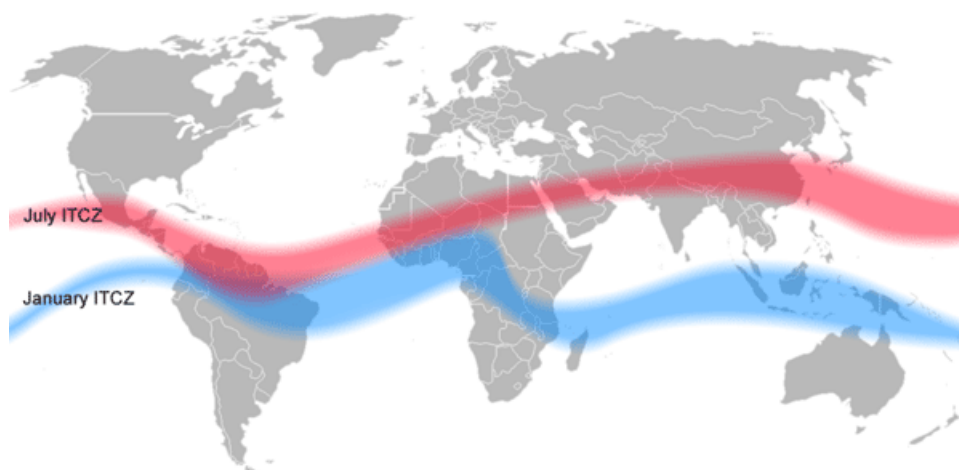


Figura 7: Posicionamento médio da ZCIT
Fonte: ZCIT, 2009.

O posicionamento da ZCIT é determinado, principalmente, pela temperatura da superfície do mar (TSM), que influencia diretamente as células de Hadley de ambos hemisférios. No caso da TSM sobre o Atlântico Equatorial, quando a região norte apresenta temperatura mais elevada do que a região sul, a ZCIT tende a se posicionar mais ao norte, pois a convecção será mais forte nessa área. Ademais, os ventos alísios de nordeste ficam mais fracos do que os de sudeste, evidenciando um enfraquecimento da célula de Hadley do hemisfério norte. O inverso acontece quando o Atlântico Equatorial sul está mais quente que o norte. Este padrão de TSM diferentes nesta área do oceano é chamado de Dipolo do Atlântico, sendo caracterizado como Dipolo Positivo (Norte mais quente) e Dipolo Negativo (Norte mais frio) (MOURA; SHUKLA, 1992).

Na região da ZCIT, existe uma forte convergência de umidade, pois os ventos alísios que formam a ZCIT vem dos oceanos, carregando consigo grande quantidade de vapor d'água. Associado a isso, tem-se o movimento convectivo da célula de Hadley. Logo, existem condições ideais para a formação de nebulosidade sobre essa faixa e pode-se esperar a formação de nuvens profundas, em geral nuvens do tipo

cumulonimbus (CBs) sobre a região de atuação destes sistema.

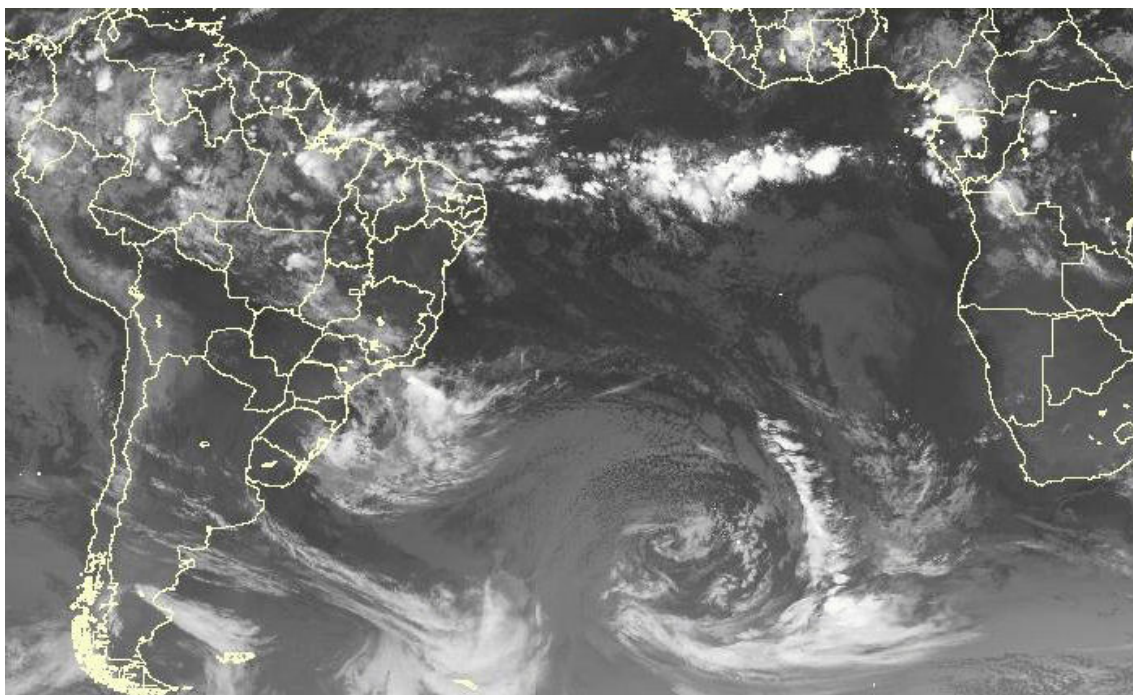


Figura 8: Imagem de satélite mostrando a ZCIT no canal IR para Abril de 2008.
Fonte: CPTEC, 2009.

A *Figura 8* mostra a ZCIT em abril de 2008 sobre o Atlântico Equatorial, caracterizada por uma faixa de nebulosidade intensa, possivelmente associada à precipitação. Neste caso, a região de Caxiuanã-PA sofre influencia direta deste sistema com elevada nebulosidade e precipitação. Ainda pode ser observado que áreas do norte e nordeste do Brasil, neste período, são marcadas pela atuação das constantes chuvas provocadas pela ZCIT.

2.5. BRISAS MARÍTIMA-TERRESTRE-LACUSTRE

Sistemas de brisa são formados, devido ao gradiente térmico gerado entre a terra e uma superfície líquida (oceano, rio, lagoas, etc) (*Figura 9*). Ocorrem durante o ano todo, possuem escala de poucas horas. Eles podem ser de três tipos: marítima, terrestre ou lacustre. A brisa marítima e a lacustre ocorrem durante o dia, quando a terra aquece mais rápido que a água, gerando convecção em superfície e subsidência sobre o corpo d'água. A brisa terrestre ocorre durante a noite, quando a terra esfria mais rápido do que o corpo d'água, invertendo a circulação anteriormente descrita.

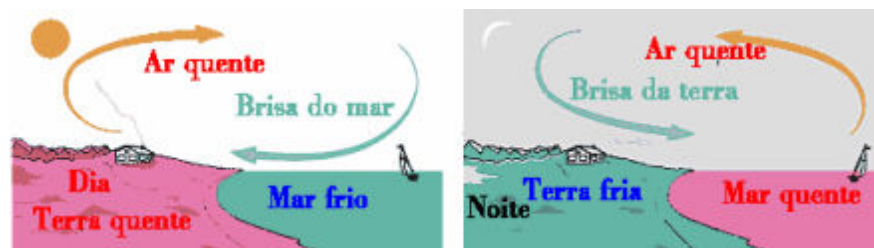


Figura 9: Esquemática do sistema de brisas. A esquerda brisa marítima ou lacustre, a direita brisa terrestre

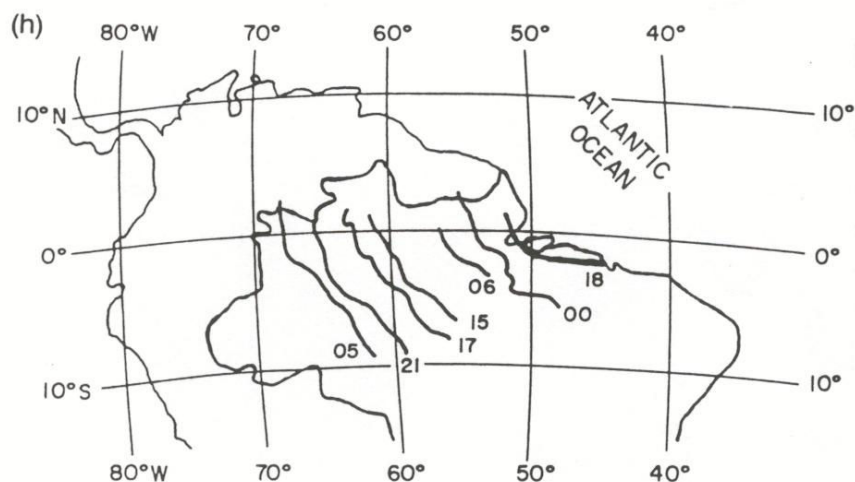
Fonte: Brisas, 2009.

Na Amazônia, as brisas são as principais responsáveis pela formação de linhas de instabilidade (Lis) (COHEN; GANDU, 2002; COHEN, 1995). As Lis são responsáveis pela precipitação ao longo do seu deslocamento pelo continente, desde o litoral paraense até o Acre. Moura et al. (2004) estudaram o sistema de brisa no lago da Balbina (Amazônia) e mostraram também que estes sistemas influenciam o transporte, e a dispersão de gases. Ainda segundo os autores, o horário de melhor caracterização das brisas foi: das 10 às 14 horas para a lacustre e das 16 às 08 horas para a terrestre.

2.6. LINHAS DE INSTABILIDADE (LIS)

Parte dos Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM), as Linhas de Instabilidade podem causar grandes quantidades de chuvas, durante a sua passagem pela região. Como o nome do grupo sugere, as Lis são sistemas de mesoescala, podendo alcançar um comprimento de 3000 Km no estágio maduro (GARSTANG et al., 1994), e durar de 9 a 16 horas (COHEN, 1995).

As Lis que podem passar por Caxiuanã, se formam na costa norte-nordeste da do Brasil, através da brisa marítima, recebendo o nome de Linha de Instabilidade a partir do momento em que ela se desloca continente a dentro. Este deslocamento pode ser devido a vários fatores: Sun e Orlanski (1981a) propõem que a instabilidade trapezoidal (liberação de ondas de gravidade interna de mesoescala originada a partir da variação diurna da estabilidade estática da camada limite planetária), seja a responsável pela propagação. Cohen (op.cit.) evidencia a possibilidade das ondas de leste serem as responsáveis pela movimentação das Lis para dentro do continente e classifica as linhas de acordo com o seu deslocamento (*Figura 10* mostra a propagação de uma das Lis estudadas), enquanto que outro autor classifica de acordo com a forma da linha e as nuvens que a compõem (DROSDOWSKY; HOLLAND, 1987).



Posições sucessivas da LI estudada (Cohen et al, 1995)

Figura 10: Propagação da Linha de Instabilidade estudada por Cohen (1995)

Em geral, as Linhas de Instabilidade são compostas por nuvens profundas, basicamente CBs (GAMACHE; HOUZE, 1982). Logo, é de se esperar um grande volume de precipitação sobre a região de influencia desses sistemas. A *Figura 11* mostra um evento de LI, pode-se ver que a nebulosidade está profunda pela brancura da nuvem, evidenciando um grande desenvolvimento vertical e consequentemente intensa ocorrência de precipitação.

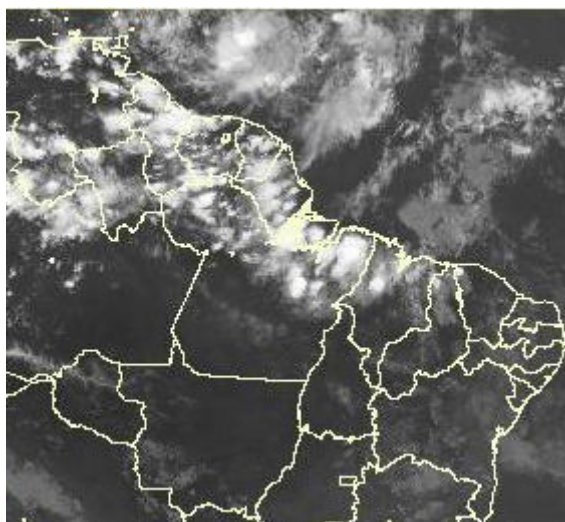


Figura 11: LI sobre a região norte do Brasil, as 20:45 TMG do dia 22/08/2008.
Fonte: Climanalise, 2009.

Cavalcanti (1982) observou que as LIs ocorrem durante todo o ano. No entanto, um maior número foi observado durante o inverno no hemisfério sul, no mês de Agosto.

Apesar do gradiente de temperatura entre a terra e o oceano ser maior durante o verão, a ZCIT pode ser responsável por “esconder” estes sistemas, por isso a quantidade observada durante o verão é menor, crescendo durante o outono até atingir o máximo durante o inverno e voltar a reduzir durante a primavera.

2.7. SISTEMA FRONTAL (SF)

Sistemas frontais (frentes frias principalmente) são comuns na região sul e sudeste do Brasil, possuem escala dias e causam rápidas mudanças nas condições de tempo nas regiões por onde passam. No entanto, na região norte eles não chegam com muita frequência. Porém, apesar do sistema frontal dificilmente chegar a latitudes baixas, não quer dizer que eles não influenciem nas condições de tempo da região. Quando um SF chega até o sul da região norte, ele recebe o nome de “friagem” no período de inverno (SERRA, 1975), e é bem menos intenso do que os SF do sul do Brasil (pois, ele perde suas características ao longo do seu avanço sobre o continente). Mesmo sem passar sobre a região, os seus efeitos podem ser sentidos devido aos distúrbios gerados pelo mesmo nos campos meteorológicos.

Um SF ocorre quando uma massa de ar se desloca sobre outra massa com características diferentes, podendo ser uma frente fria (massa fria se desloca sobre uma quente) ou frente quente (massa quente se desloca sobre uma fria). Em ambos os casos, uma região de forte gradiente de temperatura e umidade, confluência de ventos em superfície é formada entre as duas massas de ar, denominada de “Zona Frontal”.



Figura 12: Esquematização de um SF

Fonte: Frente, 2009.

Dependendo do tipo da frente, diferentes nuvens se formam ao longo da zona frontal (*Figura 12*). Quando o ar frio tenta se movimentar, empurrando o ar quente (frente fria), ele tenta empurrar a massa quente, como o ar frio tende a ficar por baixo, a massa quente e úmida é elevada rapidamente, originando nuvens profundas. Em uma frente quente, isso não ocorre. A massa mais quente empurra de forma mais “sutil”, e não é elevada com muita rapidez, resultando em nuvens estratiformes.

Alguns estudos já foram realizados em relação às frentes frias que atingem a Amazônia. Kousky (1979) reportou que frentes frias se deslocam na direção do equador, causando máximo de precipitação na região central e leste da Amazônia. Oliveira (1986) ao analisar imagens de satélite geostacionário mostrou que vários sistemas se deslocam pela costa brasileira, principalmente durante o verão do hemisfério sul. A *Figura 13* mostra um SF no sul do norte e nordeste do Brasil relacionada com a ZCIT.

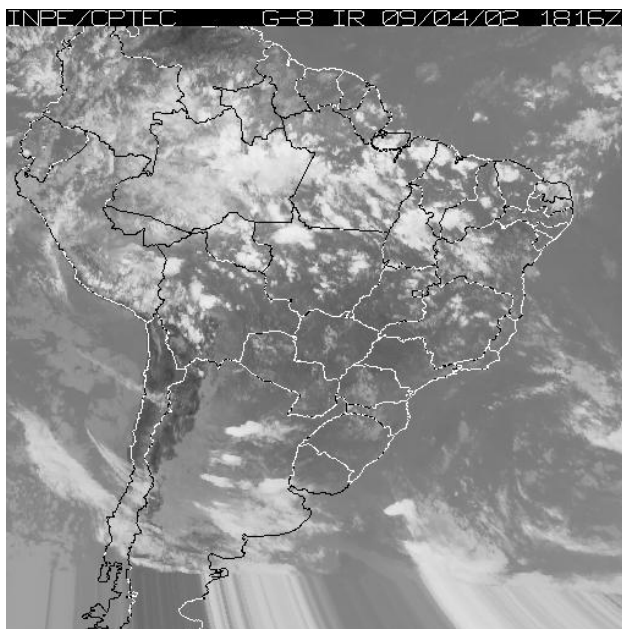


Figura 13: Imagem de satélite, no canal IR, abril de 2002.

Fonte: NECHET, 2009.

2.8. ZONA DE CONVERGÊNCIA DO ATLÂNTICO SUL (ZCAS)

Em geral, a ZCAS é definida como uma faixa de nebulosidade, no sentido NW – SE, localizada desde o norte do Brasil (onde se associa com a convecção local da Amazônia) até a região sudeste (*Figura 14*). Os eventos de ZCAS são mais comuns durante o verão do hemisfério sul (dezembro, janeiro e fevereiro), apenas recebendo esta nomenclatura quando esta faixa de nebulosidade permanece por mais de 4 dias atuando sobre a região (SANCHES, 2002).

A ZCAS se forma devido à convergência de ventos que trazem calor e umidade da Amazônia. Kodama (1992, 1993) sugere que a posição da ZCAS está associada à convecção intensa na Amazônia. Figueroa et. al. (1995) simularam as condições de convecção profunda da floresta e verificaram que este sistema se forma entre 12 e 18 horas após um pico de convecção na Amazônia.

Estudos indicam que a OMJ influencia na intensidade da ZCAS. Carvalho et al., (2003) observaram que um máximo no aumento de convecção na escala temporal intrasazonal, indica uma ligação da ZCAS com a propagação de anomalias intrasazonais no Pacífico equatorial.

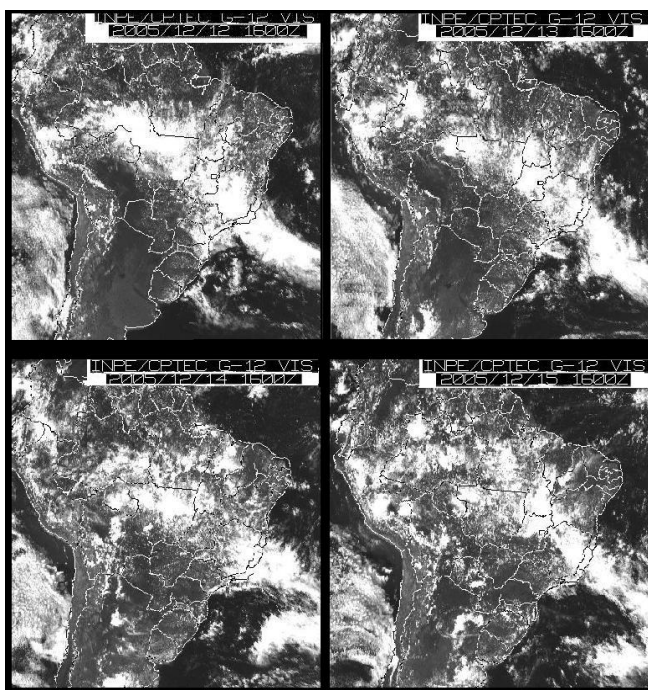


Figura 14: Imagem de satélite mostrando um evento de ZCAS nos dias 12, 13, 14 e 15 de dezembro de 2005. (Canal visível)

Fonte: ZCAS, 2009

3. SITIO EXPERIMENTAL

O trabalho foi desenvolvido utilizando os dados coletados na Floresta Nacional de Caxiuanã (1° 42'S, 51° 31'W). Esta área de preservação está localizada no município de Melgaço, Pará, 400 km distante da cidade de Belém.

O clima da região é caracterizado como tropical úmido, do tipo *Ami*, segundo a classificação de Köppen (MORAES et al., 1997), sofrendo a influencia de alguns sistemas meteorológicos de escalas temporais e espaciais diferentes. As temperaturas médias mais baixas ocorrem de janeiro a março, enquanto os meses mais quentes vão de outubro a dezembro, com temperatura média de 27 °C. A umidade relativa média anual é de aproximadamente 80%.

A leste da floresta está a baía de Caxiuanã, apresentando um modelo de lago natural da Amazônia (KERN, COSTA, 1997), alongada no sentido norte – sul, com 8 km de largura e 40 km de extensão na sua parte mais expressiva (COSTA et al., 1997).

4. DADOS E METODOLOGIA

Para a obtenção dos dados foram utilizados os instrumentos instalados na torre meteorológica construída na Estação Científica “Ferreira Pena” em Caxiuanã (*Figura 15*) que se estende acima da copa da floresta, com 57 metros de altura. A torre tem coletado dados contínuos a partir de março de 2005, embora tenham sido inevitáveis algumas falhas na coleta de dados. Para este trabalho, devido à necessidade de se ter a maior quantidade possível de dados contínuos, foram utilizados apenas as informações do ano de 2008 referentes à temperatura do ar, umidade relativa, radiação (utilizada para o cálculo do saldo de radiação) e vento horizontal (decomposto nas componentes u e v).

Os dados foram coletados a cada meia hora pela torre micrometeorológica, sendo armazenados em *dataloggers*. Para este trabalho, foi feita a média horária para todo o ano de 2008, e em seguida foi aplicada a esta série de dados a transformada ondeleta, gerando os escalogramas de energia e fase presentes na seção de resultados.

A Transformada em Ondeletas (TO) é uma ferramenta de análise de sinal para séries temporais não estacionárias (DAUBECHIES, 1992). Esta foi utilizada em vários estudos, desde a escala climática (El Niño Oscilação Sul) (GU; PHILANDER, 1995; WANG; WANG, 1996) até a dispersão de ondas marítimas (MAYERS et al 1993). Para este estudo, a função principal, ou seja, a função ondeleta-mãe (“*mother*”) utilizada é a de Morlet,, que por ser complexa fornece informações a respeito da energia (amplitude) e fase (WENG; LAU, 1994). Esta TW possui a seguinte forma:

$$g(t) = e^{i\omega_0 t} e^{-t^2/2}$$

Esta TW também foi escolhida por ser a mais adequada à captação de sinais atmosféricos de maneira contínua ao longo do tempo. Com isso em mente, neste estudo será analisado tanto a energia proveniente dos sinais das variáveis meteorológicas, quanto a fase (parte real) das mesmas em varias frequências, de modo a identificar a presença dos sistemas atmosféricos.

Torre Micrometeorológica da Floresta Nacional de Caxiuanã

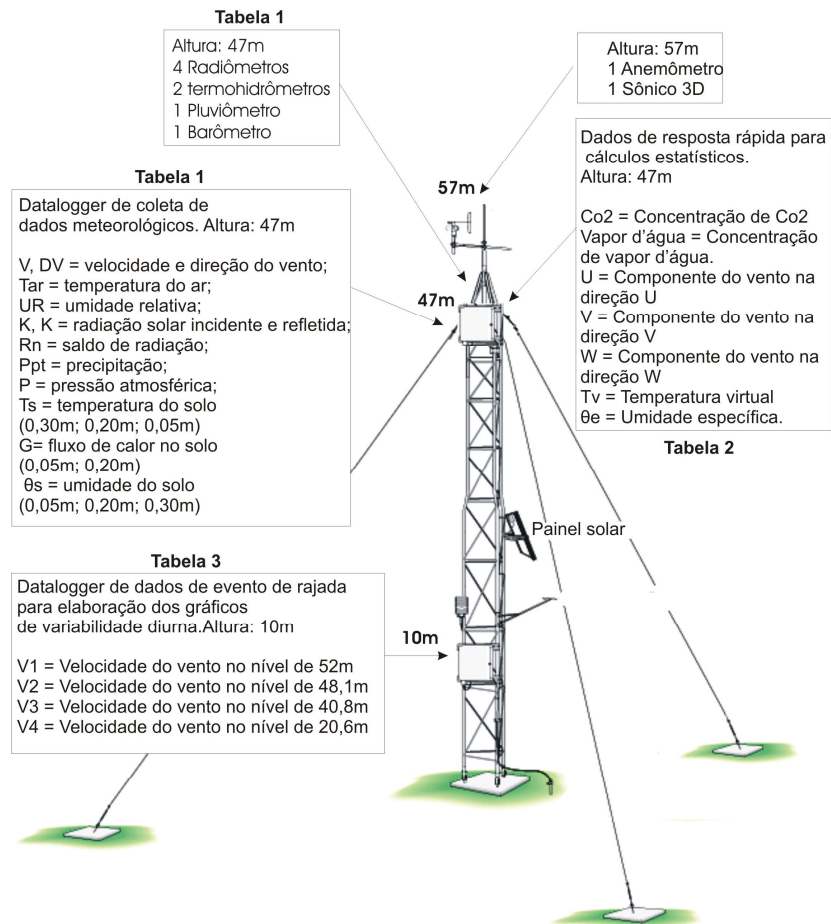


Figura 15: Esquematização da torre micrometeorológica presente em Caxiuanã e seus instrumentos.

5. RESULTADOS

Os *Quadros 1, 2, 3, 4 e 5*, abaixo mostram os resultados obtidos através da transformada em ondeletas, onde: (a) mostra as flutuações de cada variável meteorológica estudada, (b) representa o escalograma de energia do sinal atmosférico para o ano de 2008 e (c) representa o espectro global de energia da variável em questão.

O eixo X dos gráficos (a) e (b) representam o tempo equivalente à série temporal de dados em horas para 2008, de acordo com a relação abaixo:

1000h	= 1.3 meses	= 41.6 dias
2000h	= 2.7 meses	= 83.3 dias
3000h	= 4.16 meses	= 125 dias
4000h	= 5.5 meses	= 166.6 dias
5000h	= 6.9 meses	= 208.3 dias
6000h	= 8.3 meses	= 250 dias
7000h	= 9.7 meses	= 291 dias
8000h	= 11.1 meses	= 333.3 dias
8784h	= 12.2 meses	= 366 dias

Nos gráficos (c) o eixo X é o valor da energia do coeficiente da ondeleta relativa ao sinal estudado. O eixo Y de (a) representa as anomalias de cada variável estudada, já nos outros gráficos, neste eixo, estão contidos os valores das escalas, em horas. Do mesmo modo que foi feito a relação para o eixo X, foi criada uma para Y, de modo a ajudar na interpretação dos dados, cujos valores são maiores:

64	= 2.6 Dias
128h	= 5.3 Dias
256h	= 10.6 Dias
512h	= 21.3 Dias
1024h	= 42.6 Dias
2048h	= 85.3 Dias

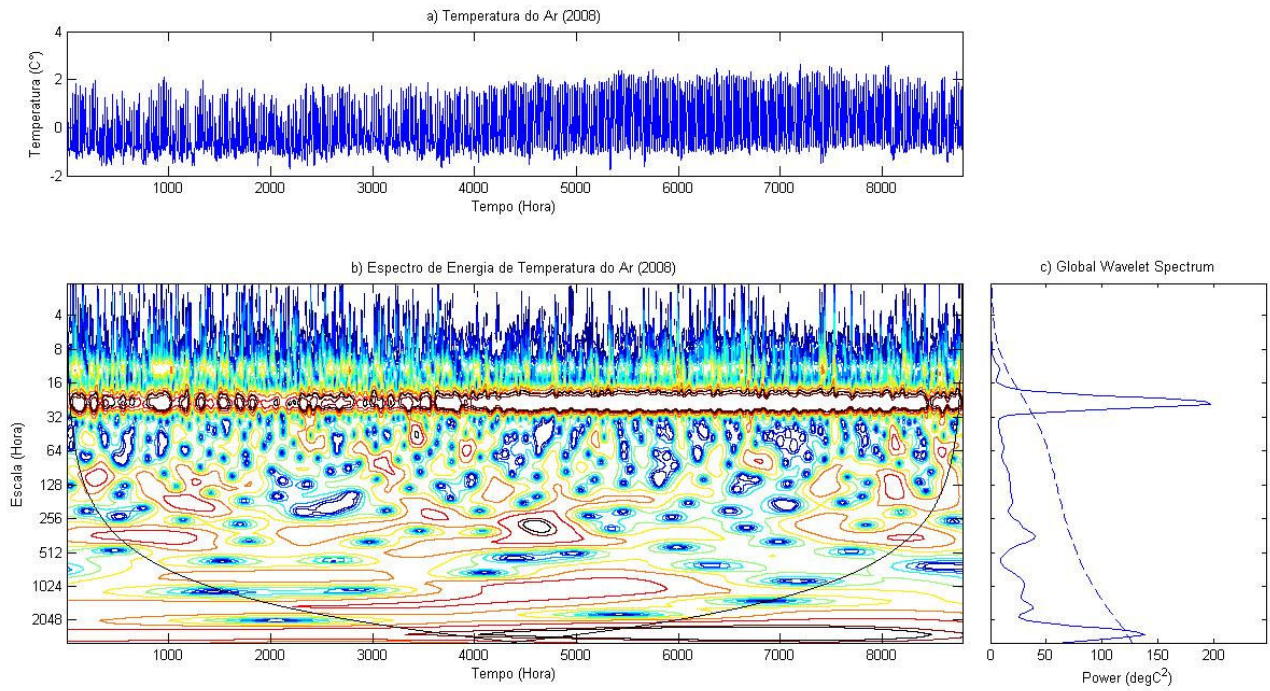
Outro aspecto importante dos gráficos de energia é o chamado “cone de influência”. A parte inferior do cone é a região do escalograma na qual os efeitos de

borda se tornam relevantes, ou seja, estes são desconsiderados na análise de ondeleta (TORRENCE; COMPO, 1998).

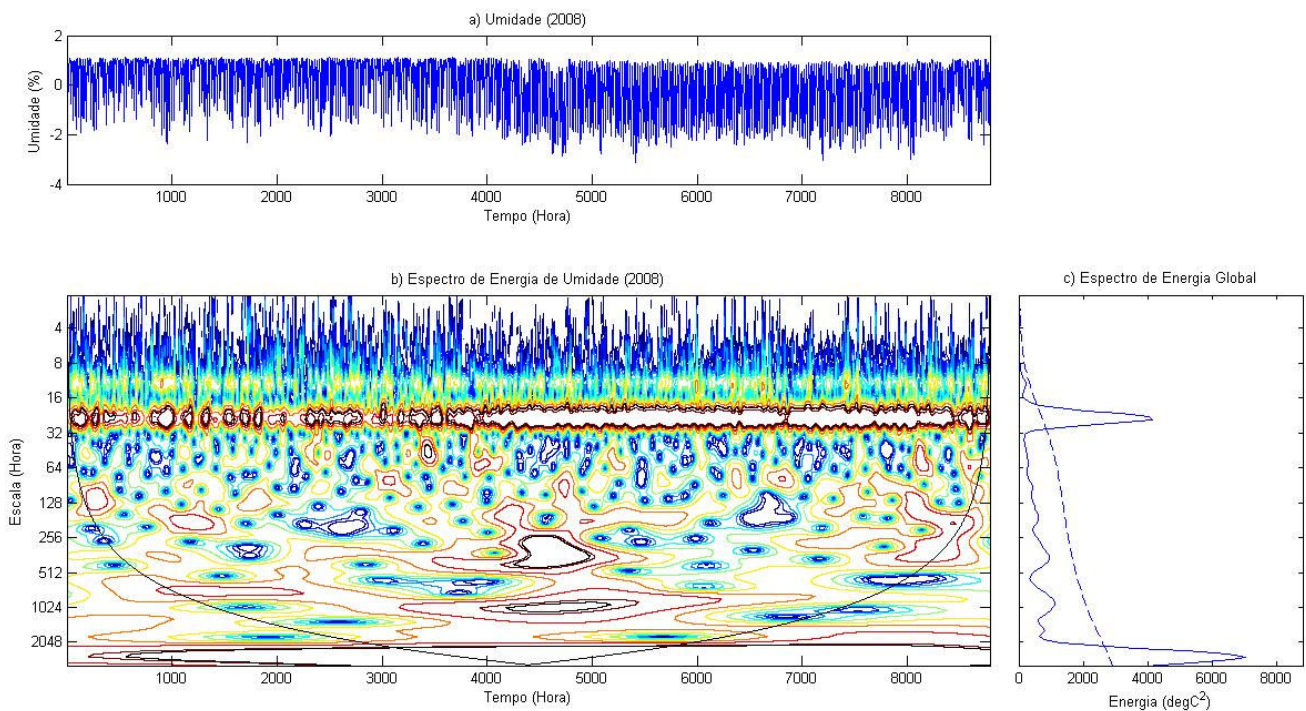
5.1 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os quadros 1 e 2 a partir do espectro global (c) mostram que o ciclo diurno e sazonal destacaram-se durante todo ano de 2008. Os gráficos (a) revelam que durante o período chuvoso da região (Jan-Mai) a temperatura do ar e a umidade relativa apresentaram anomalias de amplitudes menores do que no período seco (Jun-Dez), e variam menos com o passar do tempo. Esta diferença deve ter causa no fato de que durante a estação chuvosa observam-se diferentes oscilações atmosféricas relacionadas com os sistemas e mecanismos meteorológicos atuantes na região, como: a ZCIT, os SF, a ZCAS, os VCAN, a OMJ e ENOS (em fase negativa de TSM e IOS positivo, caracterizando La Niña) se fazem presente ou próximo à Caxiuanã, intensificando ou desintensificando a precipitação local. Neste sentido, as oscilações de temperatura do ar e de umidade relativa no período chuvoso estão associadas com escalas em torno de 5 (128 horas), 8, 11, 16, 22 e 32 dias (768 horas). Estas oscilações representam atuação de fenômenos atmosféricos desde a escala sinótica até a escala intrasazonal, relacionada com a OMJ. Dessa forma, Vitorino (2003) detectou que a ZCIT do Atlântico equatorial e os VCAN do NeB oscilam em escalas de 16 a 22 dias. As escalas de 5 e 11 dias podem estar relacionadas com o deslocamento dos SF ou ZCAS. No caso da oscilação de 32 dias é provável que se trate da passagem da OMJ. É interessante notar que as diferentes oscilações se organizam de modo a resultar nas condições de tempo e clima observado localmente, através do sinal meteorológico.

Na estação seca as oscilações de temperatura e de umidade estão marcadas no ciclo semi-diurno, diurno, 3, 5 e 11 dias. Estas flutuações podem estar associadas com os distúrbios ondulatorios de leste, durante os meses de junho, julho e agosto. Em novembro e dezembro estas oscilações podem responder pela atuação dos SF no sul da Amazônia e pelas ondas de Rossby Gravidade Mista.



Quadro 1: Valores relativos a temperatura do ar para o ano de 2008. a) representa as flutuações; b) a energia do sinal; c) espectro global da ondeleta.

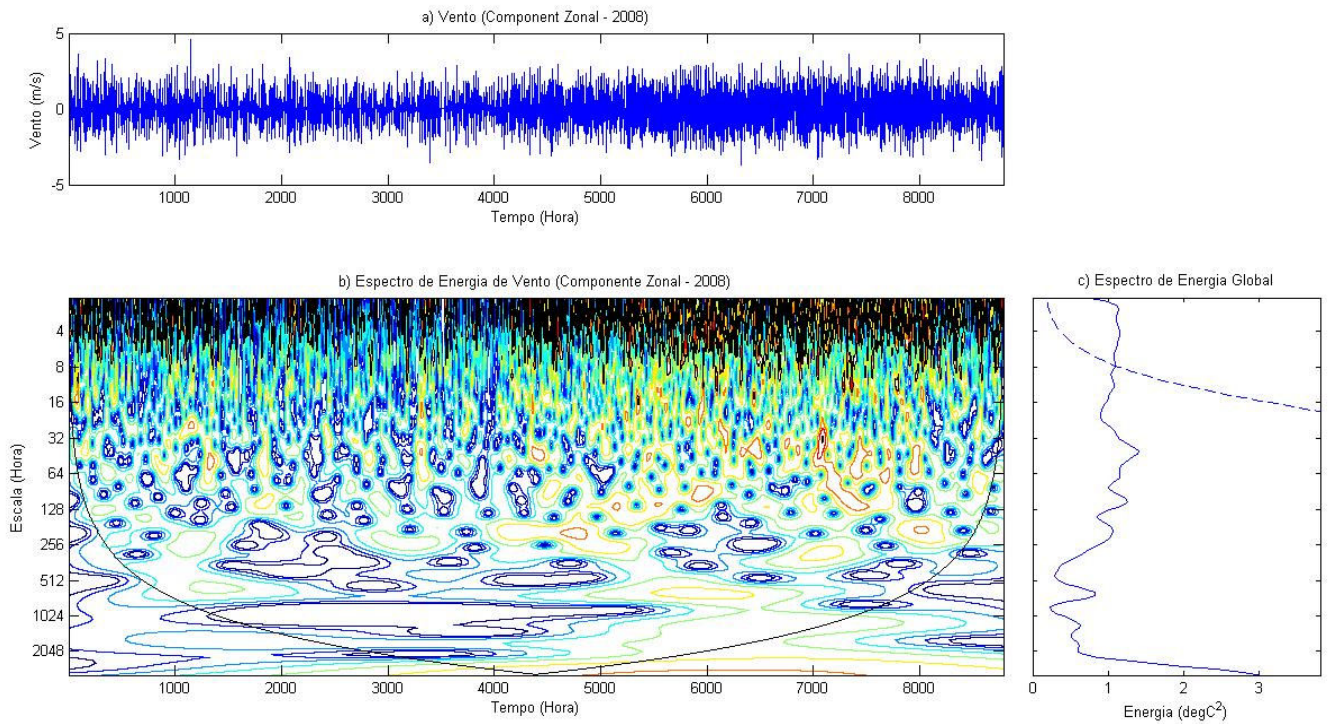


Quadro 2: Valores relativos à umidade relativa do ar para o ano de 2008. a) representa as flutuações; b) a energia do sinal; c) espectro global da ondeleta.

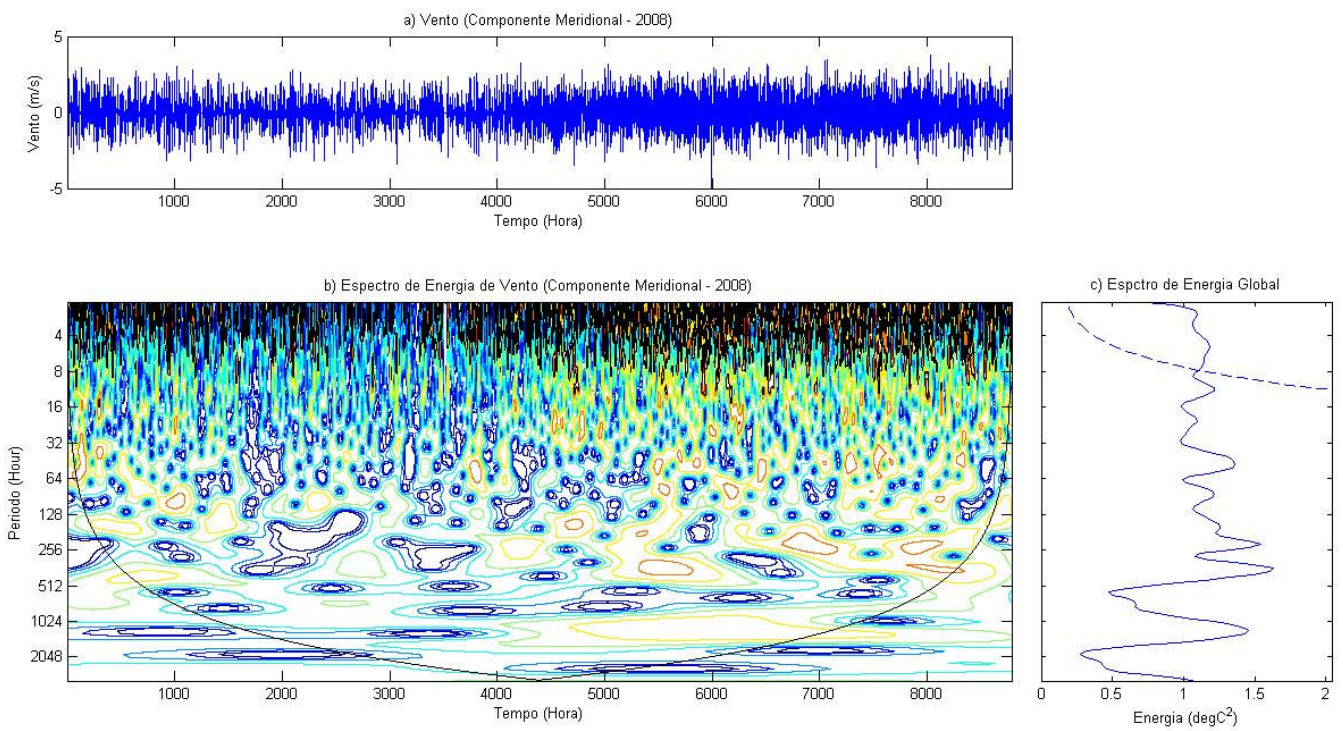
A análise de tempo-escala das componentes horizontal de U e V (*quadros 3 e 4*) apresenta semelhanças entre si, principalmente com relação à concentração da máxima energia no período seco, quando o vento horizontal é mais intenso. Ainda no período seco, observa-se que as oscilações associadas às escalas de 2 a 8 horas são as mais energéticas dentre as demais escalas. Isto pode ter relação com efeitos de processos de escalas localizadas, ou seja, fenômenos de mesoescala, como as brisas marítimas, terrestres e lacustres, e as LIs.

No *Quadro 3* nota-se que as oscilações da componente zonal do vento (U) em superfície na estação chuvosa foram marcadas por oscilações nas escalas de 256 (11 dias) e 1024 horas (43 dias). Estas devem estar relacionadas com a atuação dos SF ou ZCAS e das OMJ. No período seco, flutuações de escalas de maior frequência (2 a 8 dias) apareceram e possivelmente estiveram relacionados com os distúrbios ondulatórios de leste.

Em geral, no caso da componente meridional do vento (V) em superfície (*Quadro 4*), as flutuações de 2 a 512 horas (20 dias) estiveram mais acentuadas, principalmente no período seco. Neste período o transporte meridional pode ser mais intenso, devido ao gradiente térmico maior entre pólo e equador. As oscilações de V associada às escalas de 1024 a 2048 horas (43 a 85 dias) no período seco, ou seja, no início da primavera do hemisfério sul, podem estar relacionadas com a atuação da OMJ via SF ou ZCAS no sul da Amazônia.

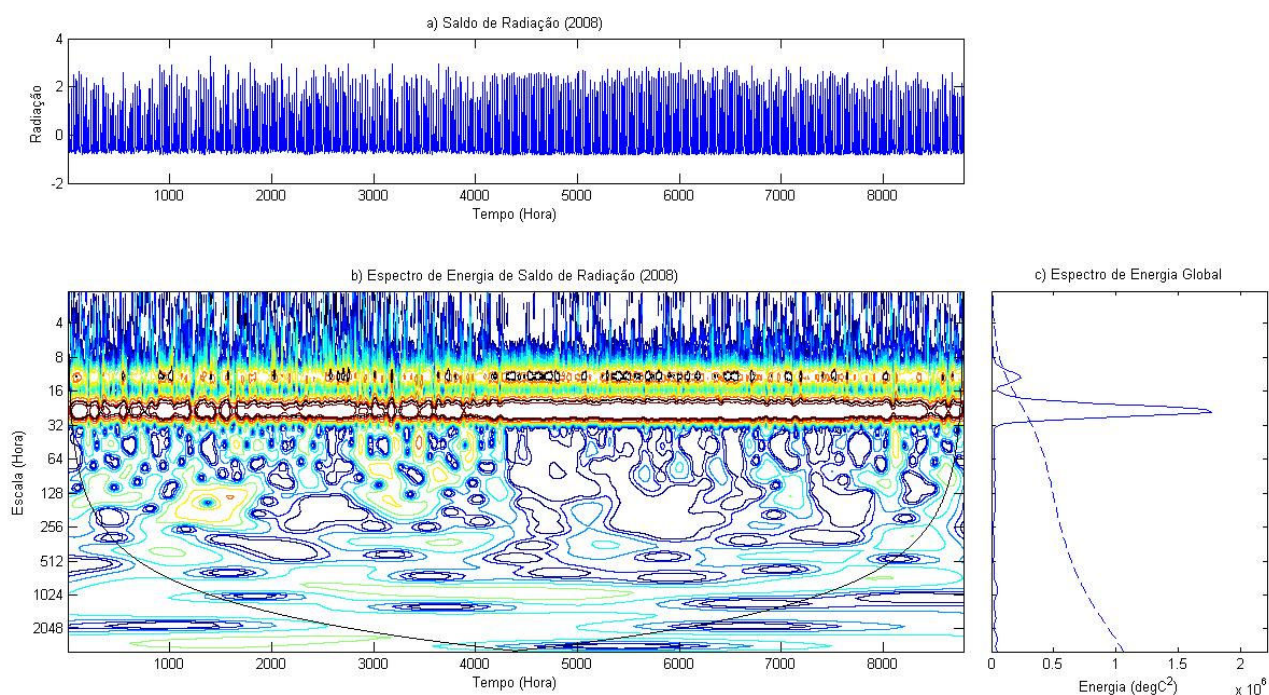


Quadro 3: Valores relativos a componente "u" do vento para o ano de 2008. a) representa o valor de "u"; b) a energia do sinal associada a "u"; c) espectro global da ondeleta.



Quadro 4: Valores relativos a componente "v" do vento para o ano de 2008. a) representa o valor de "v"; b) a energia do sinal associada a "v"; c) espectro global da ondeleta.

O escalograma do saldo de radiação (RN) (*Quadro 5*) mostra que as escalas do ciclo diurno e semidiurno são mais evidentes, principalmente no período seco da região. Durante a primeira metade do ano, a quantidade de nebulosidade é alta durante a maior parte do tempo. Desta forma, a chegada direta de radiação solar na superfície é interrompida parcialmente, gerando várias atenuações no ciclo diurno. Como a floresta de Caxiuanã está localizada próxima ao equador, a quantidade de radiação proveniente do sol que atinge a superfície não sofre grandes alterações diárias, apesar da diferença marcante entre a estação seca e a chuvosa no ciclo diurno e semi-diurno. Nota-se que a amplitude máxima de RN é praticamente a mesma na série temporal em ambas as estações, e poucos eventos aparecem no espectro de energia: apenas dois se destacam, durante a estação chuvosa. São eles: um entre a escala diurna e as escalas de 128-256 horas (5-11 dias) nos meses de fev-mar, e um outro de 32-128 horas (1.5-5 dias), durante abr-mai.



Quadro 5: Valores relativos ao saldo de radiação (RN) o para o ano de 2008. a) representa as flutuações; b) a energia do sinal; c) espectro global da ondeleta.

5.2. ESTUDO DE CASO

Nesta seção, dois casos distintos (um para o período chuvoso e outro para o período seco) foram escolhidos com base nos escalogramas de energia e fase das variáveis meteorológicas, seguido de uma análise sinótica. Para esta seleção foi feita uma análise visual visando as escalas de alta frequência, de 2 a 100 horas (em torno de 2 horas a 3 dias), na qual foi feita uma busca por períodos em que houvesse pulso em torno de 2 horas, durante todo o ano estudado. A partir dos casos selecionados foi feita uma análise visando à conexão entre as escalas de tempo. Para isso foram utilizados os escalogramas de fase da temperatura do ar, umidade relativa e componente do vento horizontal para um evento na estação chuvosa (2-6/fev) e outro na seca (4-8/nov).

5.2.1 Caso I: Estação Chuvosa (2 a 6 de Fevereiro)

Os quadros 5 e 6 mostrados a seguir o mesmo padrão dos quadros da seção anterior, no eixo “x” esta a contagem do tempo e no “y” as escalas temporais (desta vez, variando de 2 a 128 horas), em a) esta a serie temporal, b) escalograma de energia, c) o espectro de energia global. As barras presentes neles estão delimitando os estudos de caso, ou seja, a região localizada dentro das barras é aquela utilizada para criar os gráficos de fase (*figuras 16 e 17*). Nestes escalogramas de fase, assim como na energia, o eixo “x” representa o tempo e “y” as escalas, sendo que na imagem da direita a escala varia de 2 a 100 horas e na imagem da esquerda de 2 a 20 horas, as cores representam fases com valores positivos (mais próximas ao vermelho) e negativos (mais próximas ao azul).

Novamente, ambas as variáveis apresentam padrões de energia parecidos, o ciclo diurno bem caracterizado e atuando como o mais influente. Com esta ampliação na alta frequência, podem-se analisar com mais facilidade a energia contida nestas escalas, o ciclo sem – diurno fica bem caracterizado, tanto na temperatura, quanto na umidade, sendo que neste último, há um pico mais significativo em torno das 900 horas. Observando-se as escalas menores, mais eventos com maior quantidade de energia se fazem mais presentes na temperatura do que na umidade.

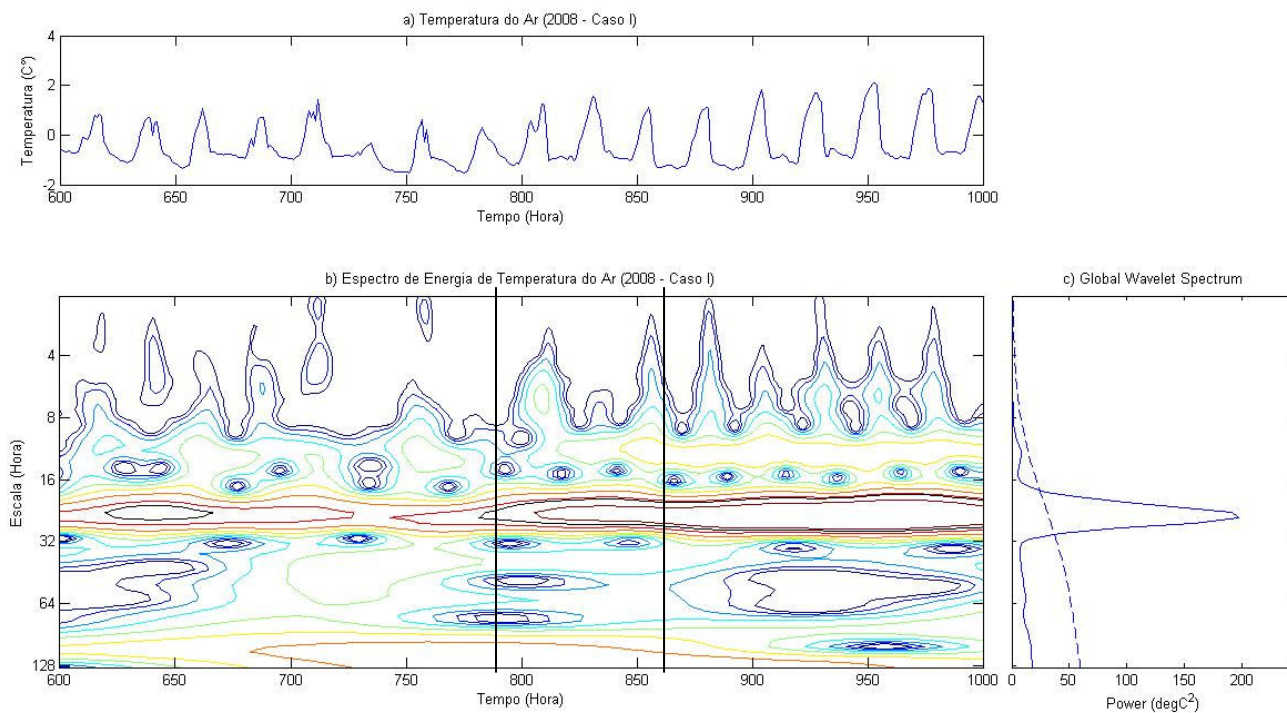
Analisando-se a fase do sinal para este período, pode-se ver que há inversão entre os gráficos das duas variáveis, enquanto a temperatura apresenta valores positivos (vermelhos) a umidade registra valores negativos (azuis) e vice – versa. Isso já é

esperado, pois estas variáveis atuam de forma oposta: a medida que a temperatura aumenta a umidade tende a diminuir, pois a fórmula para o cálculo da UR é e / e_s (pressão de vapor pela pressão de vapor de saturação) e a variável e_s depende da temperatura, logo, quanto maior for a pressão de saturação, menor será UR. Também se pode notar o chamado “efeito cascata”, descrito por Torrance e Compo, no qual as escalas aparecem conectadas, uma escala sofrendo influência de outras.

Nos escalogramas de fase, pode-se notar a conexão existente entre as escalas, e como elas contribuíram para a determinação da temperatura do ar e da umidade relativa. Próximo a hora 00z do dia 4 de fevereiro há uma fase positiva na escala de 100 horas do escalograma da temperatura conectada com as outras escalas, favorecendo aumento na temperatura, atingindo o máximo do período de estudo, 30,08°C. No escalograma da umidade, existe uma fase negativa, no mesmo horário, se conectando com as outras escalas, reduzindo a umidade local, alcançando o valor mínimo do período, 60,9%.

Pode-se ver na *Figura 16* que além do pulso do ciclo diurno, existe uma onda na escala em torno de 12 horas, com início no segundo período do dia 3. Este pulso não mostra periodicidade definida, apesar de estar presente neste estudo de caso, em outros períodos do ano ele não está ativo. Estas oscilações semi-diurnas são possivelmente causadas pelas chamadas “marés atmosféricas”, geralmente causadas por variações na insolação, podendo ser responsáveis por interferências na precipitação local, como foi sugerido por Lindzen (1979). Em torno da escala de 2 horas também aparece um pulso de energia, entre o dia 3 e 4, logo após o horário das 12z, próximo ao período noturno. Este ocorre durante o horário de maior aquecimento e como a torre de Caxiuanã está próxima a uma grande massa de água doce, a Baía de Caxiuanã, esta oscilação provavelmente é causada por um mecanismo de brisa que atua sobre a região: quando ocorre próximo à noite, este sistema é intensificado, devido a forma parecida com um lago da bacia de Caxiuanã, a brisa terrestre que desloca-se em direção a bacia, converge em um ponto próximo ao centro, advectando e subsidindo ar sobre a região onde fica torre micrometeorológica, gerando jatos noturnos em certas ocasiões. Observando-se o escalograma da fase, percebe-se uma conexão entre todas estas escalas, desde 100 horas até as escalas de alta frequência (efeito cascata), intensificando tanto as fases positivas quanto as negativas. Neste caso, a convecção formada pelo sistema de brisa deve ter sido favorecida pelas outras escalas, resultando em precipitação, como se pode ver nos gráficos da série temporal quando ocorre um súbito aumento na umidade relativa enquanto a temperatura caiu, justamente quando ela deveria estar atingindo o máximo

do dia, sendo resultado de uma atenuação da radiação solar pelas nuvens. Isso se confirma com o gráfico de precipitação (*Gráfico 1*) que mostra a ocorrência de chuva neste período, com máximo atingindo pouco mais de 2mm de precipitação.



Quadro 6: Valores relativos a temperatura do ar. a) representa as flutuações; b) a energia do sinal; c) espectro global da ondeleta

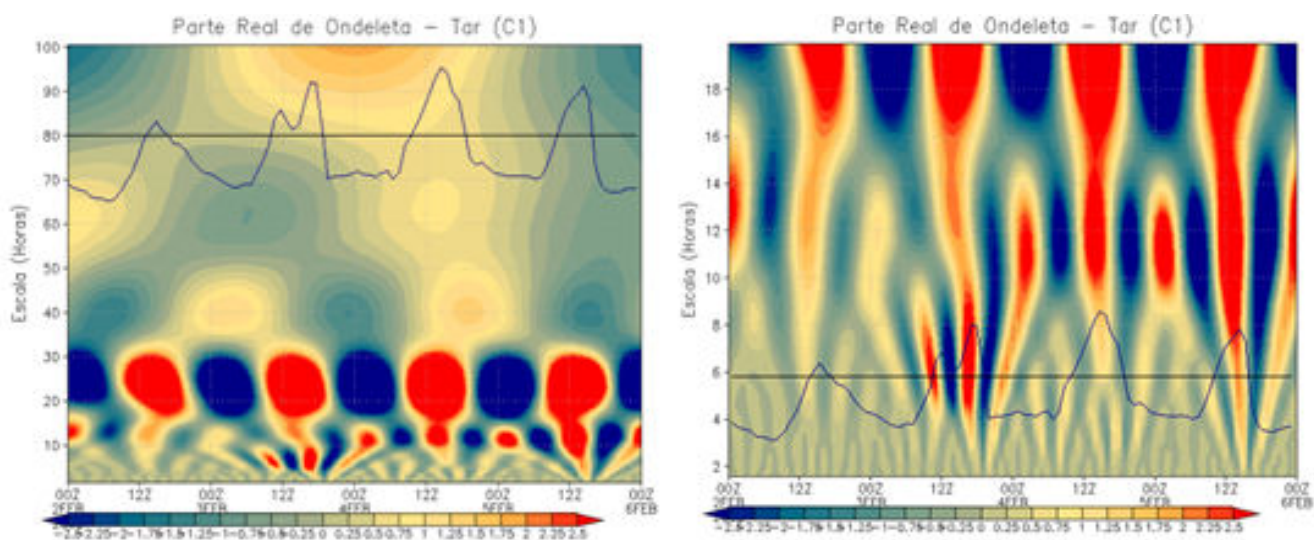
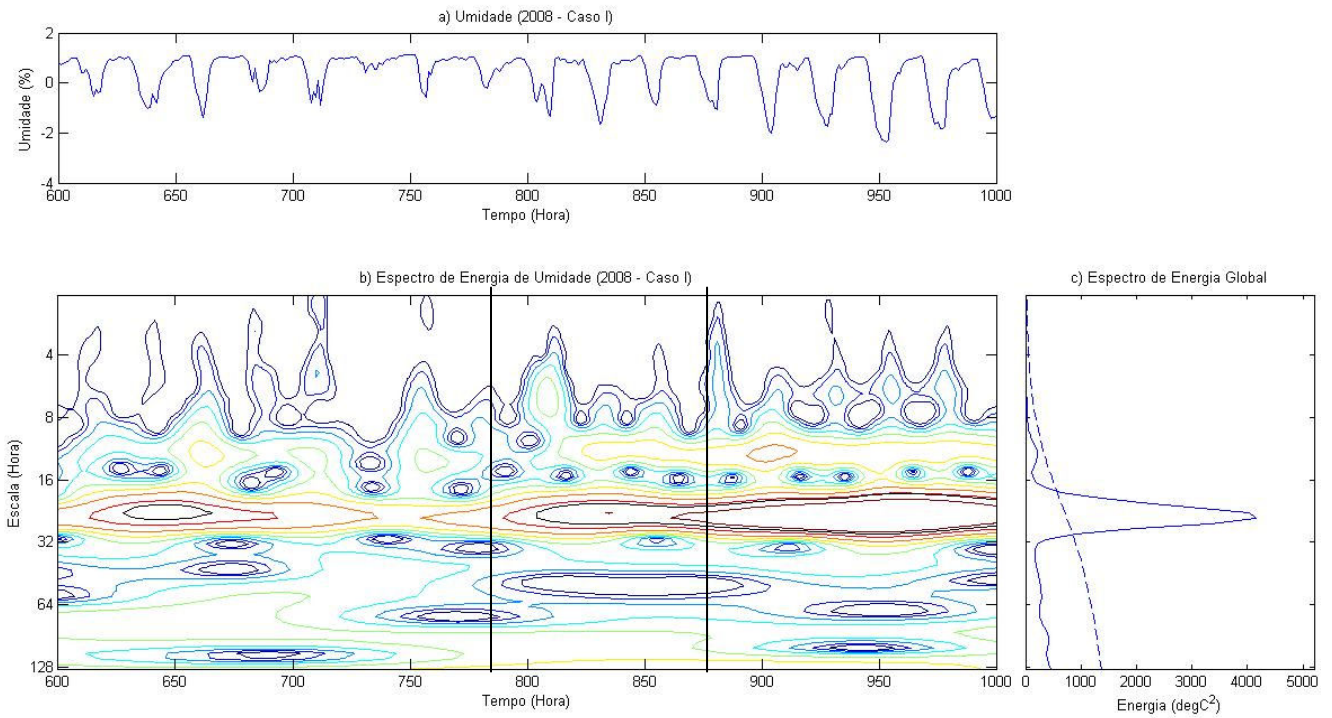


Figura 16: Escalograma de fase da temperatura do ar (Caso I, de 2 a 5 de fevereiro de 2008).



Quadro 7: Valores referentes a umidade relativa do ar. a) representa as flutuações; b) a energia do sinal; c) espectro global da ondeleta.

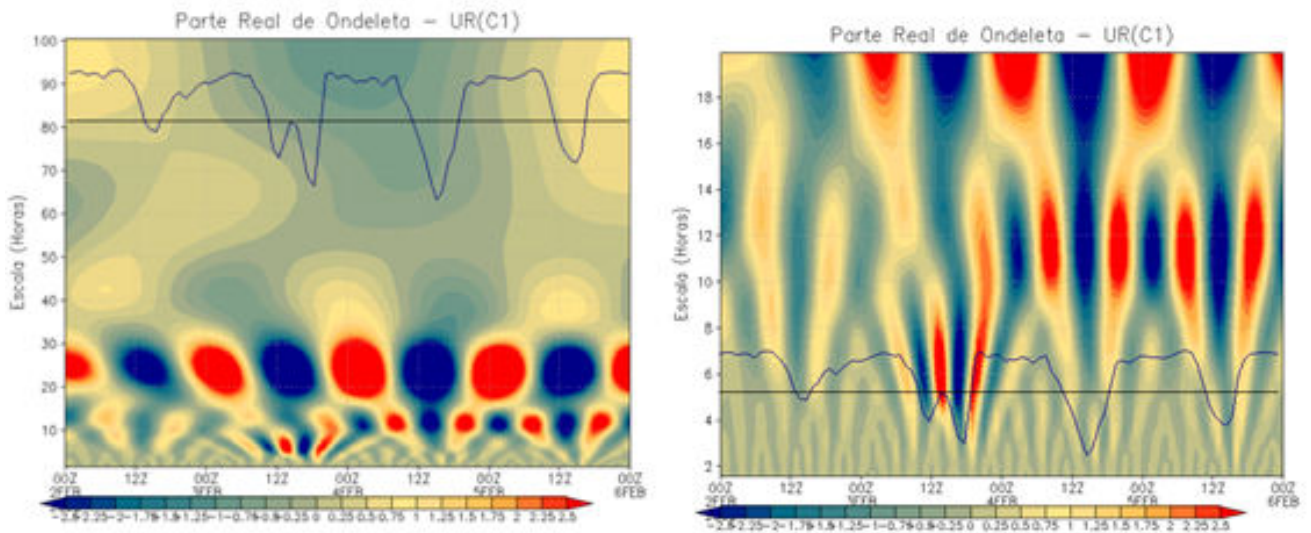


Figura 17: Escalograma de fase da UR (Caso I).

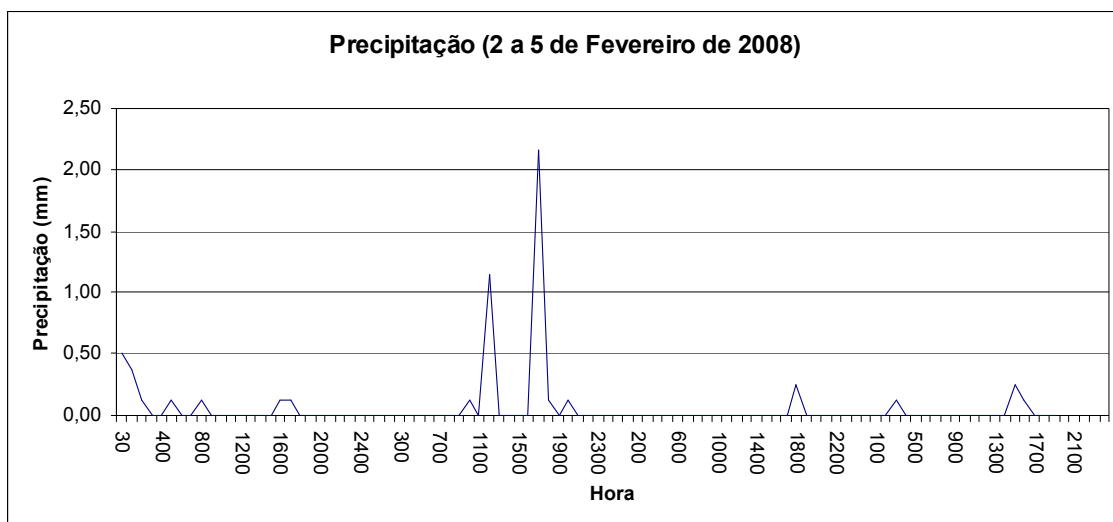
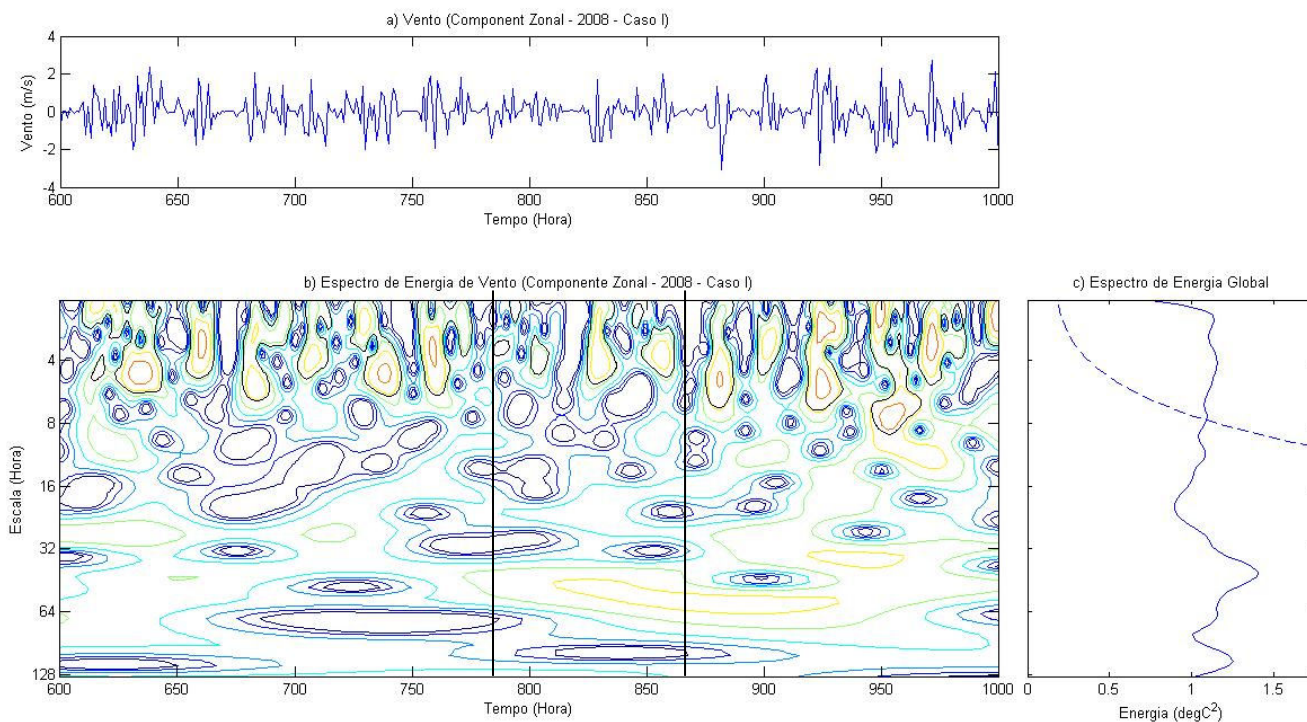


Gráfico 1: Precipitação na torre de Caxiuana, no período de 2 a 5 de fevereiro de 2008.



Quadro 8: Valores relativos à componente "u" do vento. a) representa os valores de "u"; b) a energia do sinal associados a "u"; c) espectro global da ondeleta.

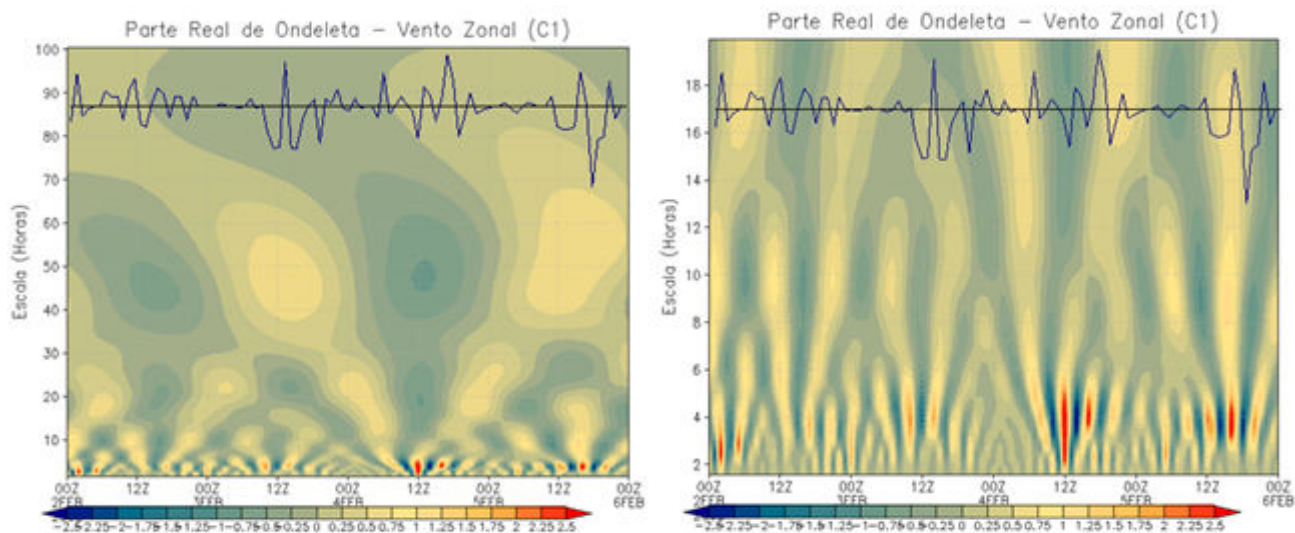
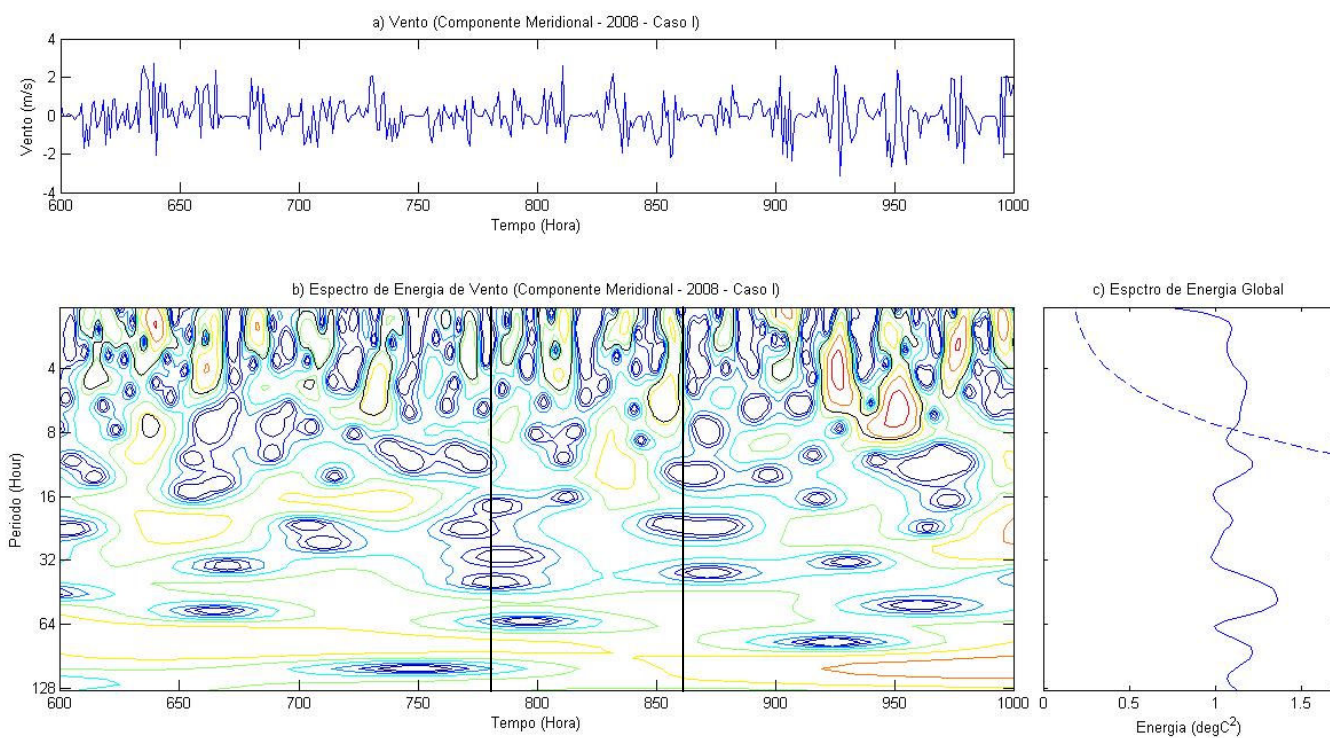


Figura 18: Escalograma de fase do vento zonal (Caso I, de 2 a 5 de fevereiro de 2008).



Quadro 9: Valores relativos a componente "v" do vento. a) representa os valores de "v"; b) a energia do sinal associado a "v"; c) espectro global da ondeleta.

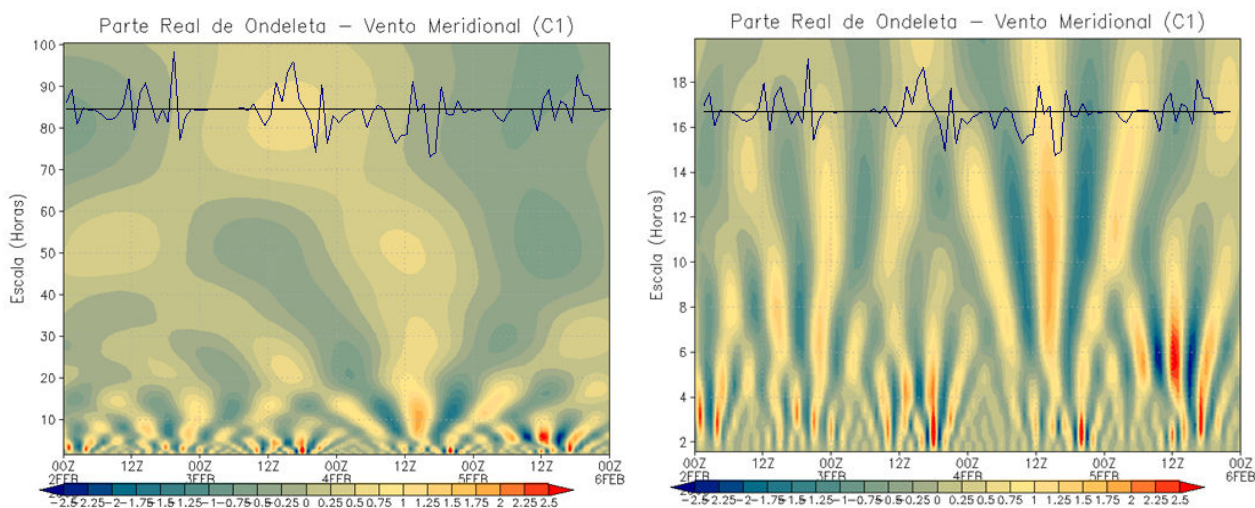


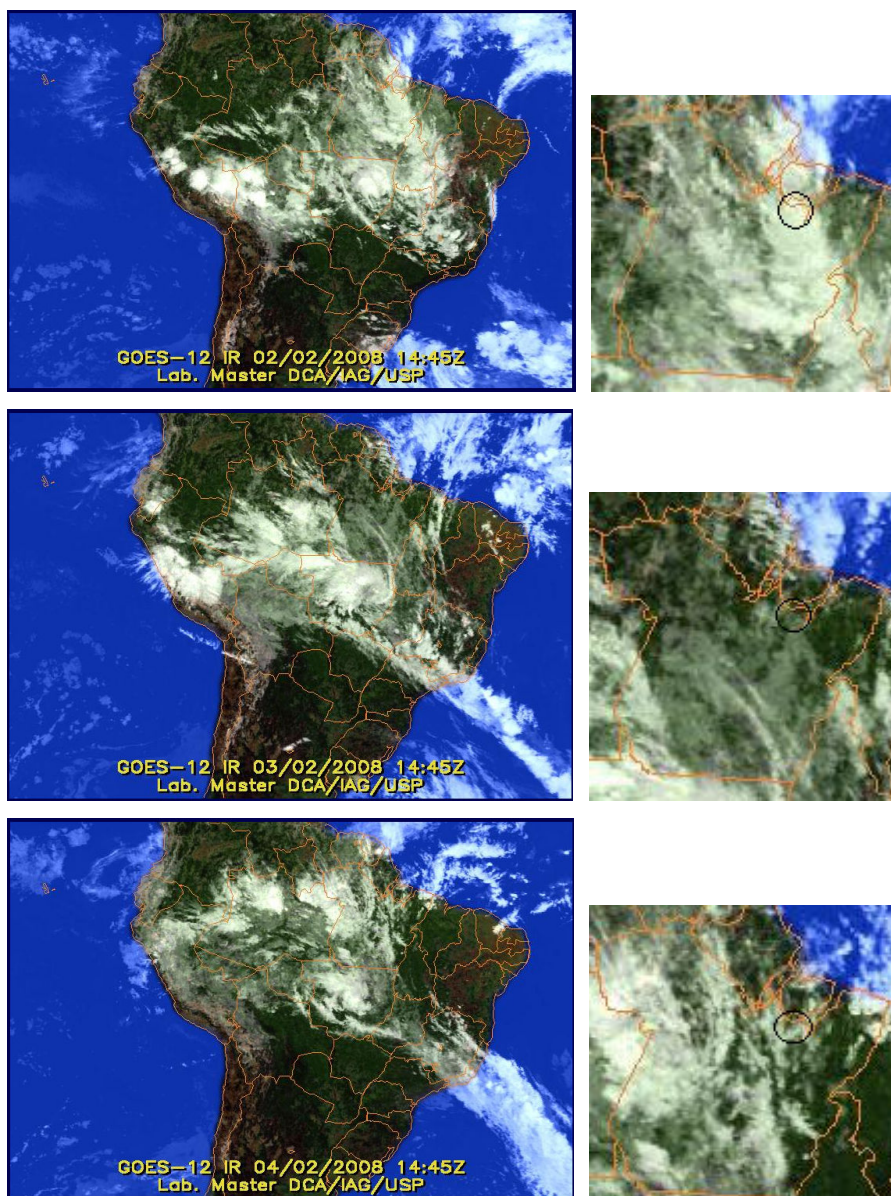
Figura 19: Escalograma de fase do vento meridional (Caso I, de 2 a 5 de fevereiro).

Como já era de se esperar, os gráficos de vento apresentam pouca intensidade, pois o gradiente térmico nesta época do ano é baixo. Tanto o vento meridional quanto o vento zonal apresentam pequena quantidade de pulsos nos escalogramas de fase. As oscilações que aparecem estão todas entre a escala de 2 e 4 horas, e pouco depois do meio dia, caracterizando a provável presença de um sistema de brisa nestes horário. Vale destacar que apesar das características físicas do local não mudarem, estes eventos não aparecem regularmente, mostrando como a atmosfera não é periódica, não segue um padrão.

No escalograma da direita, podemos ver vários pulsos de energia próximos ao período noturno, respondendo por aquela subsidência causada pela convergência da brisa terrestre sobre a bacia de Caxiuanã, e novamente, mostra como a atmosfera não é repetitiva, pois estes eventos não aparecem de forma regular. Em torno das 12h existe um pulso fraco que passa sua energia para a escala de 6h, que por sua vez a transfere para a para a escala de 3h.

A análise sinótica deste período (*Figura 20 e 21*) nos revela que a ZCAS (nas cartas sinóticas, ela aparece apenas no dia 5, representada por uma faixa entre o nordeste e o sudeste do Brasil) atuando sobre o continente impediu o avanço da frente fria para a região norte. A ZCIT (faixa ao norte nas cartas sinóticas) permaneceu modulando o tempo sobre a região norte e noroeste do estado do Pará, influenciando também a região de Caxiuanã. Com a ação destes dois sistemas de grande escala, observar algum outro tipo de fenômeno em imagem de satélite se torna difícil, pois ambos geram grande quantidade de nebulosidade, cobrindo toda a região onde eles

estão atuando, como mostra a *Figura 18*, na qual é mostrando a esquerda a America do Sul, e a direita o estado do Pará, com a localização aproximada de Caxiuanã em destaque. Pode-se ver por estas imagens a frente fria se associando a ZCAS a partir do dia 3, e a ZCIT ao norte, modulando o tempo sobre o Pará.



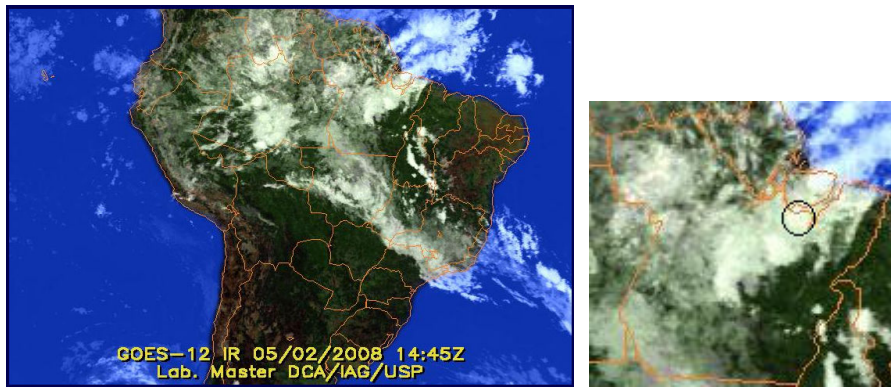


Figura 20: Imagens de satélite para os dias 2, 3, 4 e 5 de fevereiro, às 14:45z (Canal: IR)
 Fonte: MASTER, 2009.

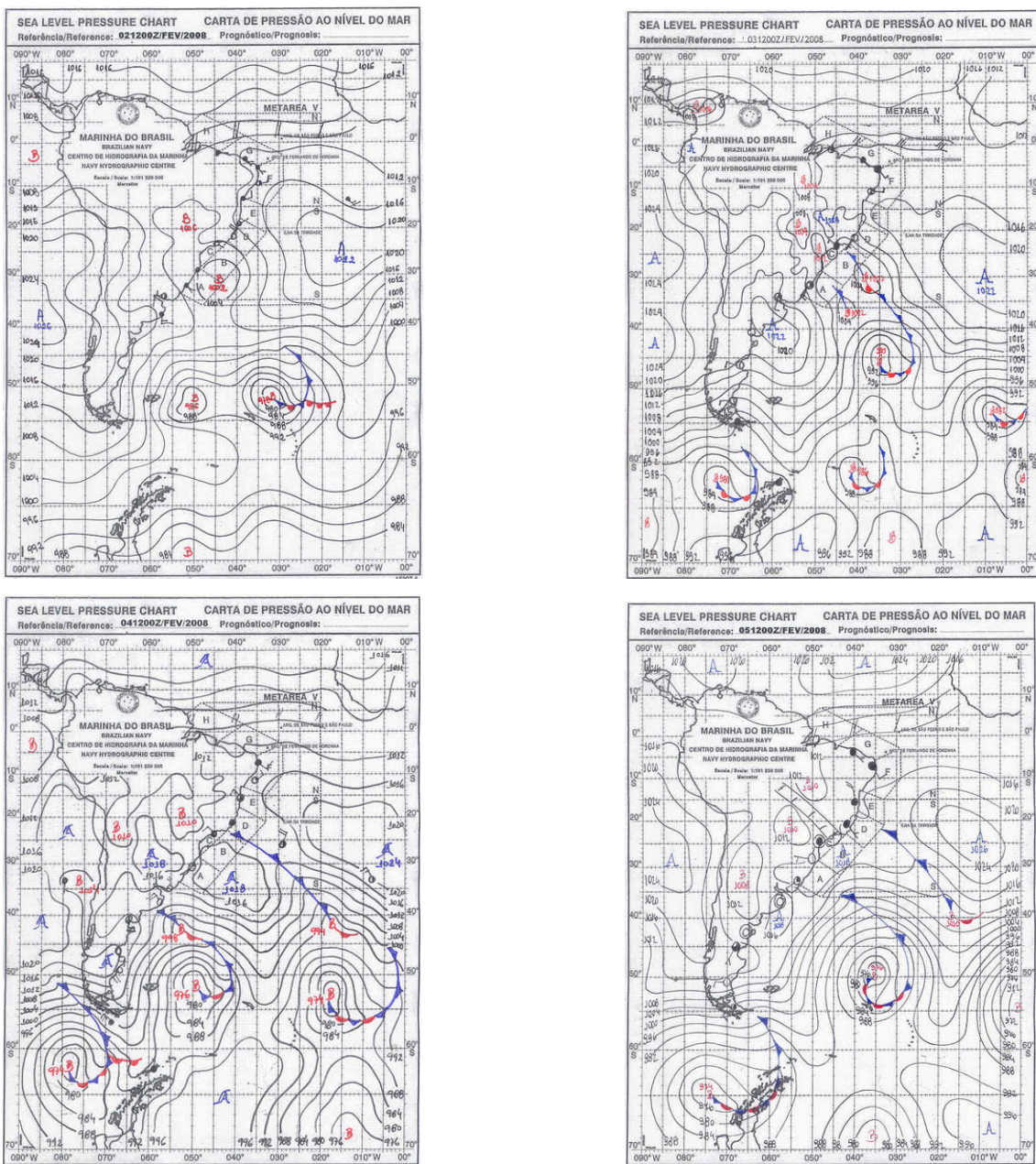


Figura 21: Análise sinótica realizada para os dias 2, 3, 4 e 5 de Fevereiro de 2008
 Fonte: SMM, 2009.

5.2.2 Caso II: Estação Seca (4 a 8 de Novembro)

Durante a estação seca, os sistemas de grande escala como ZCIT e ZCAS não estão atuando sobre a região. Dessa forma, fenômenos de alta frequência passam a ter um peso maior na definição do tempo local. O ciclo diurno passa a ser mais influente neste período, que pode ser observado no escalograma de energia (*Quadro 11 e 12, seção*) ele fica mais contínuo, não existindo mais descontinuidades geradas pela formação de nuvens. A temperatura apresenta valores mais elevados, enquanto a umidade tende a diminuir.

No gráfico da energia da ondeleta, pode-se observar um pico de energia entre as escalas de 3 e 5 dias, provavelmente associado com evento de DOL, também aparecendo no escalograma de fase, porém menos nítido. Como foi dito anteriormente, o ciclo diurno é mais forte nesta época do ano, associado com possível DOL atuante e com as marés atmosféricas (intensificadas devido a um aumento na insolação e na variação da mesma). O DOL e as marés atmosféricas influenciam a alta frequência, as escalas correspondentes a efeitos de brisa aparecem mais vezes, mas ainda assim, sem periodicidade certa, apesar de despontarem em dois dias seguidos desaparece nos dias seguintes.

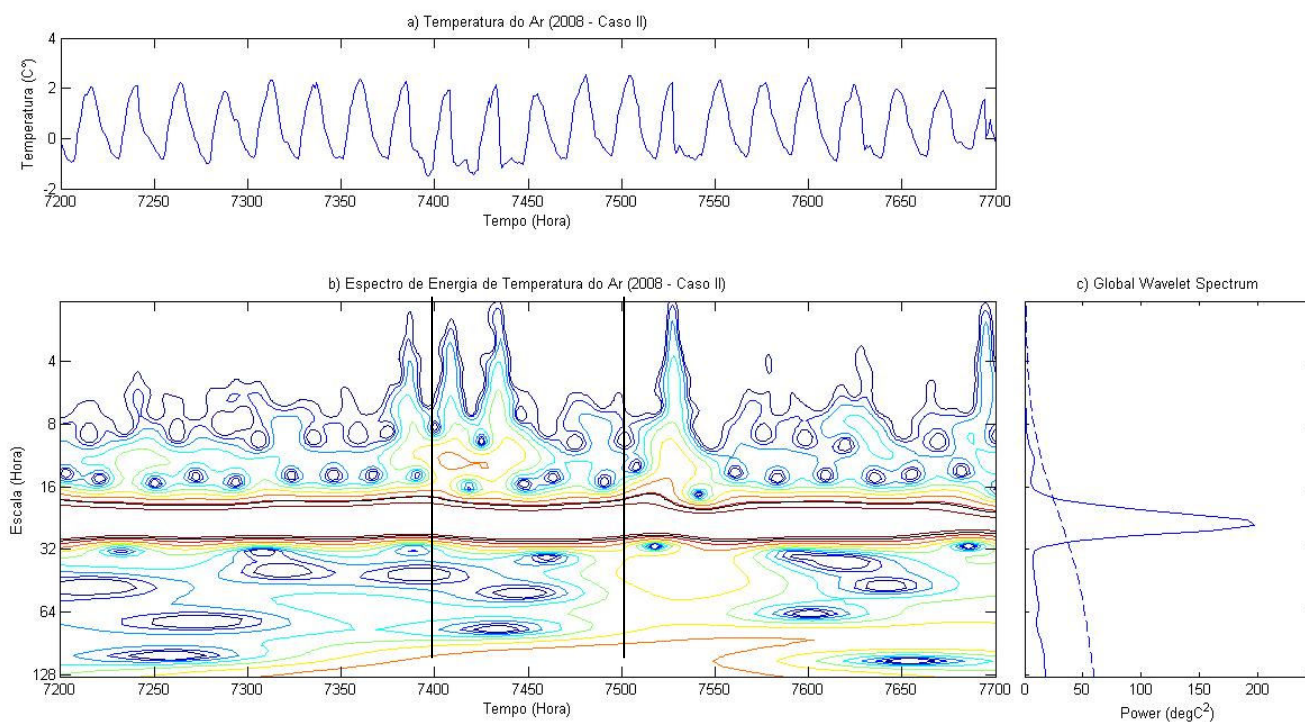
O gradiente térmico pólo – equador aumenta, a velocidade do vento aumenta, e assim como ele, a intensidade dos pulsos e a quantidade de picos de energia também aumentam. Vários picos de energia aparecem na alta frequência ao observarem-se os *Quadros 13 e 14*, com os picos próximos à escala de 16 horas podendo representar a passagem de LIs pela região.

A conexão entre as escalas fica mais forte como mostram os escalogramas, principalmente nas escalas a baixo de 6 horas, correspondendo aos efeitos de brisa. No vento zonal, em que se tem um pulso fraco em torno das 16 horas, a energia parece ser transferida desta escala para outra menor, voltando para a escala inicial no final da serie temporal. Já no vento meridional, esse pulso às 16h não existe; no entanto, ocorre um na escala de 8h que transfere a energia para a escala menor.

Novamente pode-se observar a conexão entre as escalas favorecendo ou desfavorecendo a umidade relativa e a temperatura do ar. Uma fase negativa na temperatura em torno da escala de 100 horas, próximo ao horário das 00z do dia 5 de novembro, conectada a outras escalas, foi responsável pela temperatura mínima do

período, $21,9^{\circ}\text{C}$, enquanto que uma fase oposta no escalograma de umidade relativa ocasionou o máximo de umidade, $94,95^{\circ}\text{C}$.

A análise sinótica deste período mostra a posição da ZCIT ao extremo norte do continente, aparecendo tanto nas imagens de satélite (faixa de nebulosidade, *Figura 26*) quanto nas cartas sinóticas (faixa ao norte, *Figura 27*), sem influenciar de forma direta o tempo da região. Algumas frentes frias passaram pelo continente. No entanto, não avançaram muito na direção norte, limitando-se à costa brasileira. Um aparente pulso se propagou de leste, observável nas imagens de satélite através da descontinuidade da nebulosidade. Apesar da ocorrência de um vórtice ciclônico em altos níveis (VCAN) sobre o nordeste do Brasil influenciando a parte da região norte, e a formação de um sistema de ZCAS a partir do dia 4, houve pouquíssima precipitação sobre a torre de Caxiuana, como mostra o *Gráfico 2*, com máximo de apenas $0,12\text{mm}$ no dia 4 e no dia 7.



Quadro 10: Valores relativos temperatura do ar. a) representa as flutuações; b) a energia do sinal; c) espectro global da ondeleta.

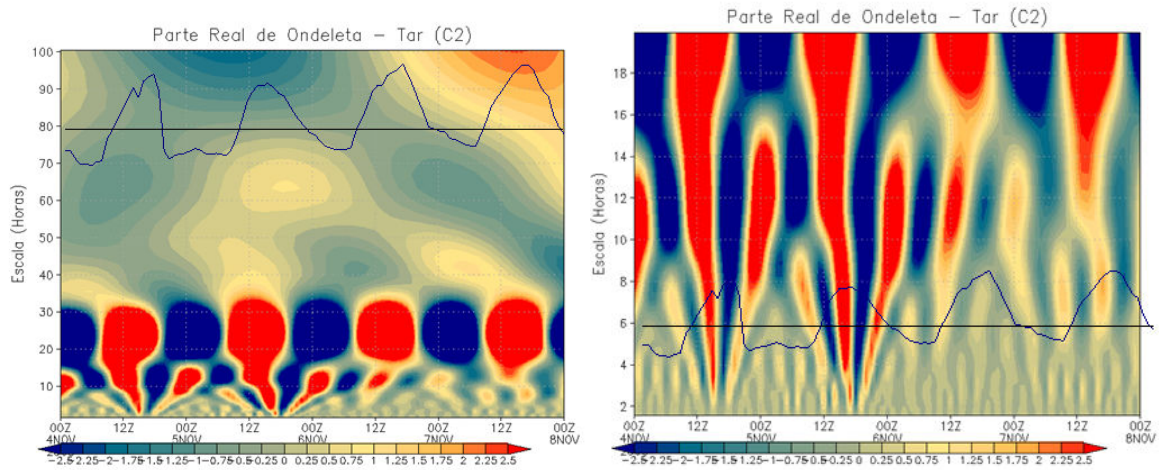
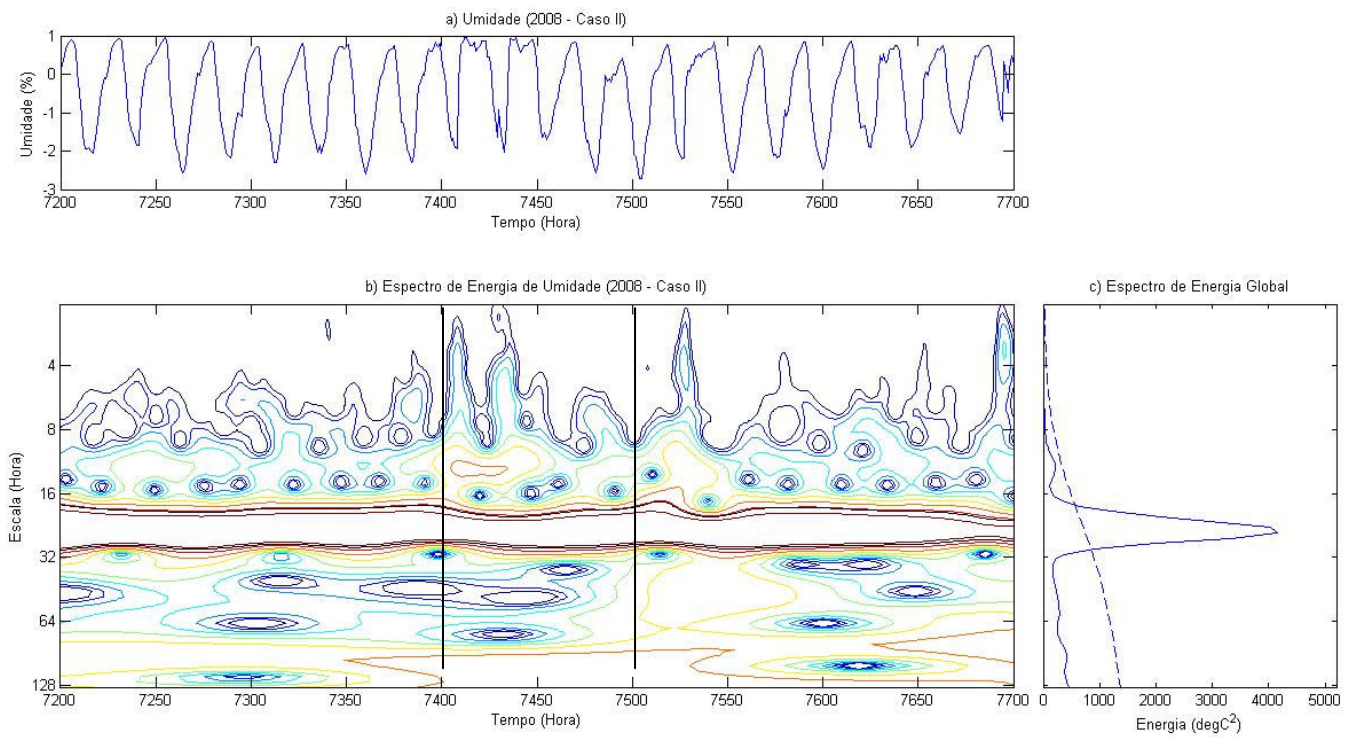


Figura 22: Escalograma de fase de Temperatura do ar (Caso II, de 4 a 7 de novembro de 2008)



Quadro 11: Valores relativos a UR. a) representa as flutuações; b) a energia do sinal; c) espectro global da ondeleta.

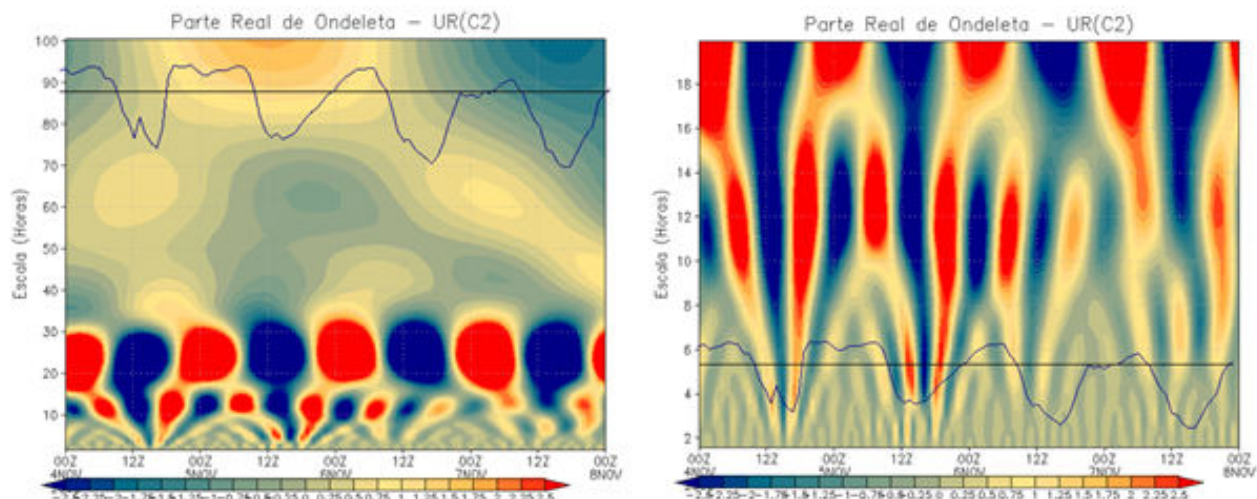
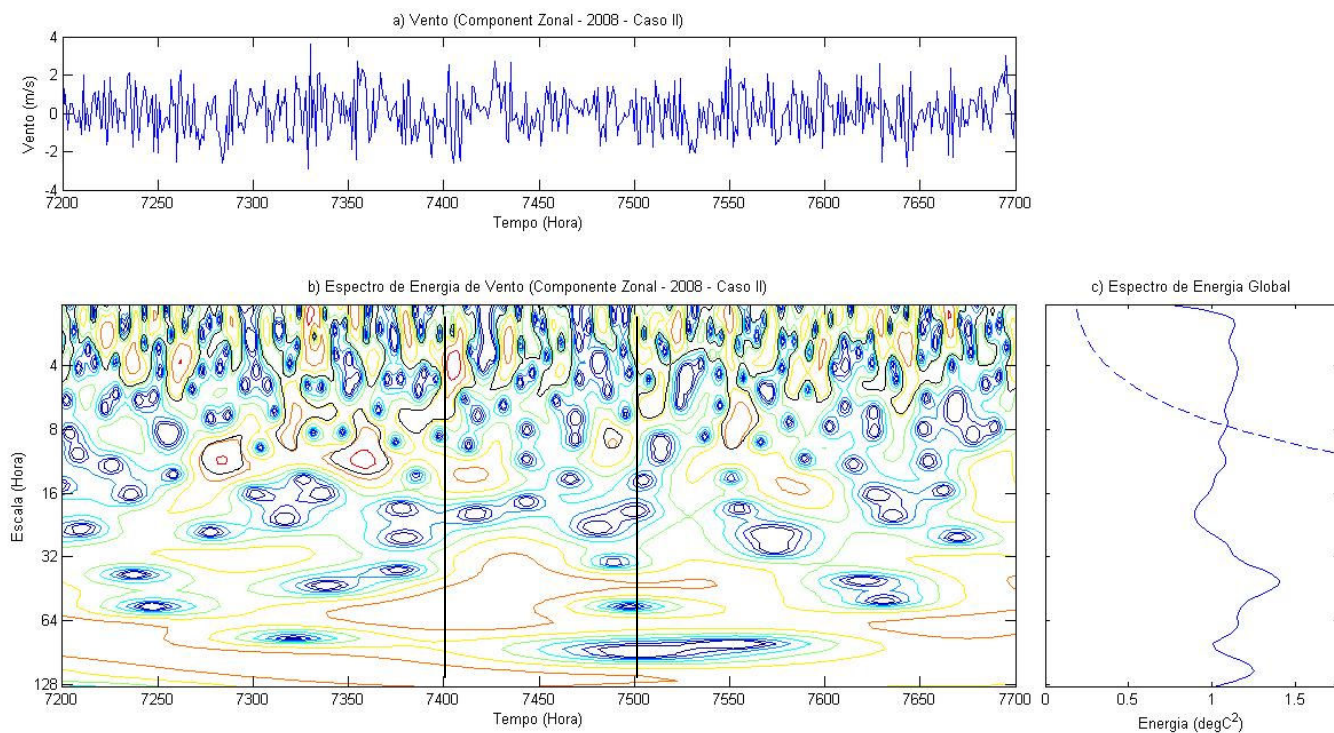


Figura 23: Escalograma de fase de UR. (Caso II, de 4 a 7 de novembro de 2008)



Quadro 12: Valores relativos a componente "u" do vento. a) representa os valores de "u"; b) a energia do sinal associado a "u"; c) espectro global da ondeleta.

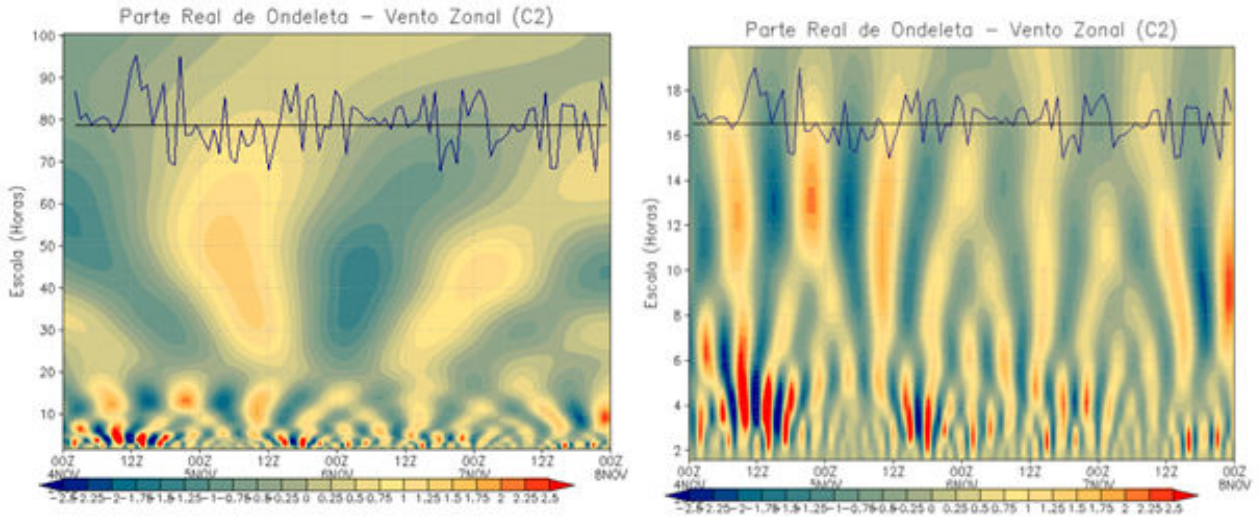
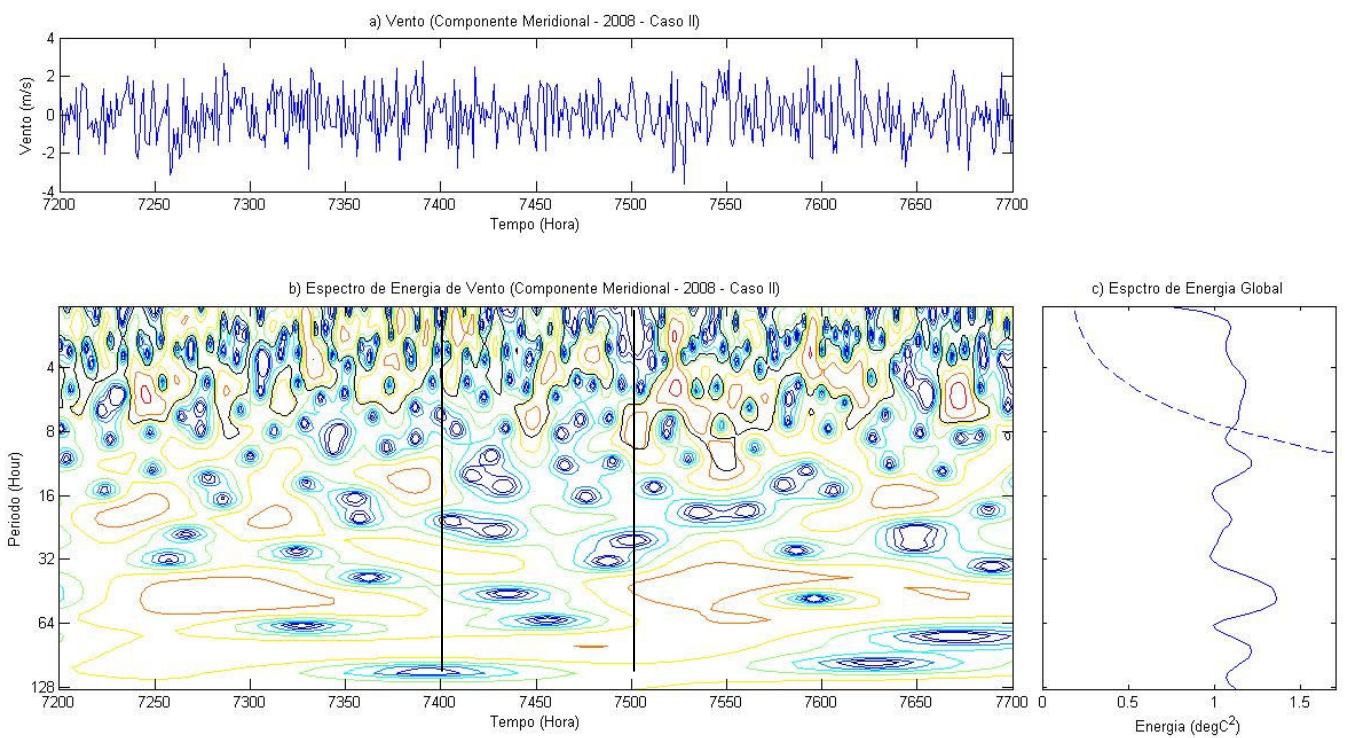


Figura 24: Escalograma de fase do vento zonal (Caso II, de 4 a 7 de novembro de 2008)



Quadro 13: Valores relativos a componente "v" do vento. a) representa os valores de "v"; b) a energia do sinal associados a "v"; c) espectro global da ondeleta.

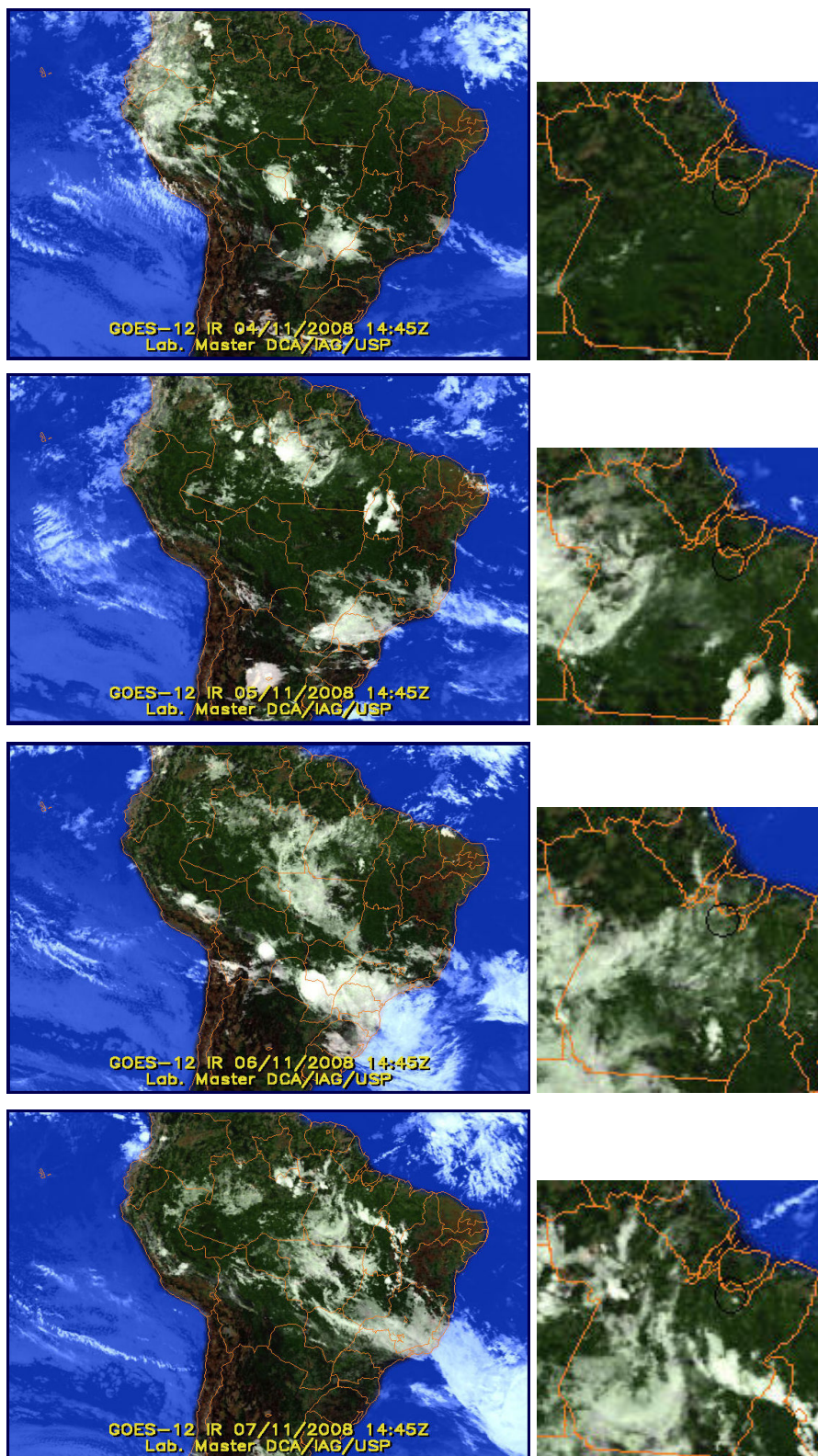


Figura 26: Imagens de satélite para os dias 4, 5, 6 e 7 de novembro de 2008.
Fonte: MASTER, 2009

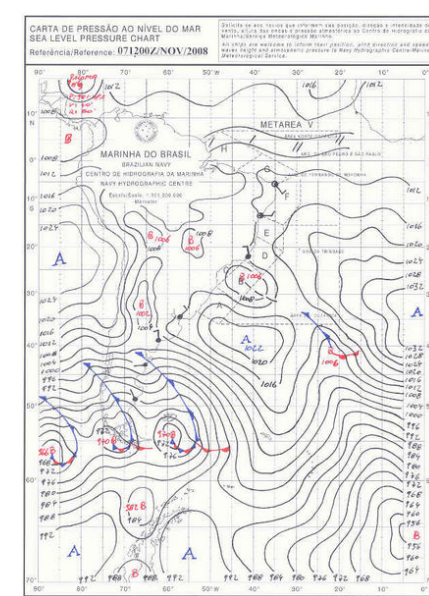
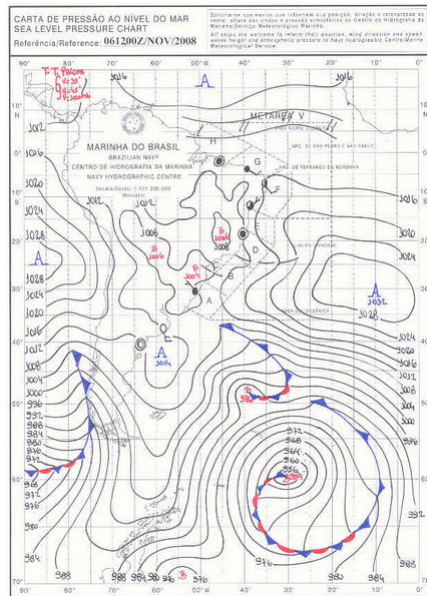
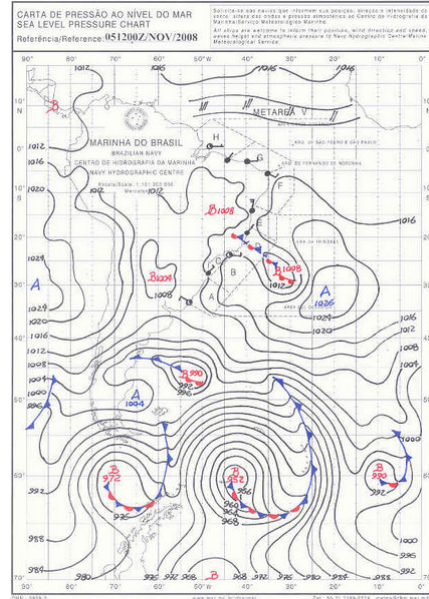
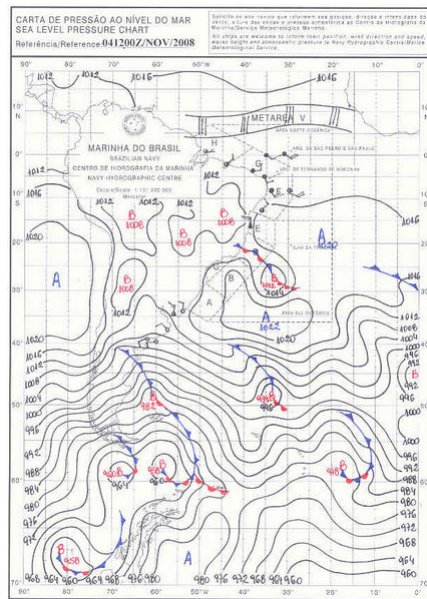


Figura 27: Cartas sinóticas para os dias 4, 5, 6 e 7 de novembro de 2008.
Fonte: SMM, 2009

6 CONCLUSÃO

O estudo de múltiplas escalas na atmosfera é importante para se entender o tempo e o clima de forma geral, e com este intuito esse trabalho pode ser desenvolvido. A utilização da transformada em ondeletas se mostrou muito eficaz na determinação da escala e do período em que vários fenômenos atmosféricos ocorreram na região de Caxiuãna.

A partir da análise de tempo-escala de dados medidos à superfície foi possível notar as diferenças marcantes entre as épocas seca e chuvosa em Caxiuãna-PA. Na análise do sinal da temperatura do ar, da umidade relativa (UR) e do saldo de radiação (RN), o ciclo diurno se destacou durante o todo o ano de 2008, sendo o mais energético nas três variáveis citadas, aparecendo “fragmentado” durante a primeira metade do ano, devido a grande quantidade de nebulosidade, e de forma contínua durante a segunda metade, quando os grandes sistemas não estiveram modulando o tempo, reduzindo a quantidade de nuvens. No entanto, diferentemente da temperatura e da UR, o RN não apresenta grande quantidade de energia além do ciclo diurno, mostrando valor significativo apenas no semi-diurno. O sinal da ZCIT pode ser visto durante o mês de Janeiro e Fevereiro, associando-se com um pico de energia na escala intrasazonal, correspondente à OMJ. Picos de energia entre as escalas de 2 a 6 dias também foram observados, provavelmente indicando a ação de DOLs sobre a região. Nos escalogramas de energia das componentes do vento, essa caracterização do ciclo diurno desaparece, dando lugar às maiores variações de energia na alta frequência, entre 12 e 2 horas. Também existem diferenças marcantes entre o período chuvoso e o seco neste parâmetro: o primeiro apresentou pequena variação de energia, resultado do baixo gradiente térmico pólo-equador; já no segundo ocorre o inverso, devido o aumento no gradiente em que, a quantidade de picos de energia também aumenta. Vários sinais em torno das 16 horas aparecem nestes gráficos, bem como aqueles próximos a 7 dias, significando que possíveis LIs e DOLs, respectivamente, estavam sobre a região.

Para os estudos de casos, 8 dias foram escolhidos para serem analisados, sendo 4 durante a época chuvosa e 4 durante a época seca, nos quais foram analisados a energia e a fase da ondeleta. No Caso I (chuvoso), devido à ação dos sistemas de grande escala, os sistemas e mecanismos de escalas menores foram enfraquecidos, resultando numa menor quantidade de energia destes na alta frequência. Apesar destes sistemas de baixa frequência estarem atuando ao mesmo tempo sobre a Amazônia, como pode ser visto na

análise sinótica e nas imagens de satélite, pouca quantidade de chuva foi registrada sobre Caxiuanã, chegando-se ao máximo de 2 mm. O Caso II (seco) revelou um aumento na energia da alta frequência, os sistemas de brisa e de marés atmosféricas passaram a ter relevância maior na composição do tempo. Assim, como no Caso I, a análise sinótica deste período mostrou a ação de alguns fatores que favorecem a precipitação, mas novamente não houve quantidade significativa de chuva, com máximo de 0,12 mm.

Este trabalho ainda é bastante preliminar em suas análises de tempo-escala para a Amazônia, necessitando de aprofundamento nas conexões entre escalas dos moduladores do tempo e do clima, devendo ser analisado mais a fundo, para um melhor entendimento de como a atmosfera local e global se acoplam.

PERSPECTIVAS FUTURAS

- 1 Elaborar um artigo deste TCC para submissão na RBMET;
- 2 Aprimorar os conhecimentos em análise funcional para melhor compreender a aplicação e análise da transformada em ondeletas;
- 3 Aprender a programar em Matlab e Grads para executar de modo satisfatório as metodologias de ondeletas;
- 4 Cursar o mestrado em Ciências Ambientais pelo PPGCA/UFPA, possivelmente ampliando os conhecimentos nesta linha de pesquisa;

REFERENCIAS

- BRISA, 2009. Disponível em: <[HTTP://www.sobiologia.com.br](http://www.sobiologia.com.br)>. Acesso em 20/12/2009.
- BURPEE, W R; The Origin and structure of easterly waves in the lower troposphere of North Africa. **Journal of the atmospheric science**, v. 29, p 77 – 90, Jan. 1972.
- CARVALHO, L M V; JONES, C; LIEBMANN, B. The South Atlantic convergence zone: intensity, form, persistence, and relationships with intraseasonal to interannual activity and extreme rainfall, **Journal of climate**, v. 18, p.88 – 108, Jul. 2003.
- CAVALCANTI, I F A. **Um estudo sobre interações entre Sistemas de circulação de escala sinótica e circulações locais**. 1982. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, São José dos Campos, 1982.
- CLIMANALISE, 2009. Disponível em: <[HTTP://www.climanalise.cptec.inpe.br](http://www.climanalise.cptec.inpe.br)>. Acesso em 20/12/2009.
- COBB, M K; CHARLES, D C; CHENG, H; EDWARD, L. El Niño/ Southern Oscillation and tropical Pacific climate during the last millennium. **Nature**, v. 424, p. 271 – 276, Julho, 2003.
- COHEN, J C P. **Um Estudo observacional de linhas de instabilidade na Amazônia**. 1989, 165 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE. São José dos Campos. 1989.
- COHEN, J C P; GANDU, A W. Linha de Instabilidade Continental na Amazônia”, 2002. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 12., Foz de Iguaçu-PR, 2002. **Anais...** Foz de Iguaçu-PR: SBMET, 2002. 1 CD-ROM.
- COSTA, M L. et al. Os sedimentos de fundo da Baía de Caxiuanã. In: LISBOA, P. L. B. (Org.) **Caxiuanã**. Belém: MPEG, 1997. p. 121-137.
- CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS (CPTEC), 2009. Disponível em: <[HTTP://www6.cptec.inpe.br](http://www6.cptec.inpe.br)>. Acesso em 19/12/2009.
- DAUBECHIES, L. Tem lectures on wavelets. **Soc. Indust. Appl. Math.**, p.357. 1992.
- EL NIÑO OSCILAÇÃO SUL (ENOS). 2009. Disponível em: <[HTTP://www.porducsd.edu](http://www.porducsd.edu)>. Acesso em 29/12/2009.
- FIGUEROA, S; SATYAMURTI, P; DIAS, P L S. Simulation of the summer circulation over the South American region with an Eta coordinate model. **J.Atmos.Sci.** v. 52, p. 1573–1584, 1995.

FRENTE, 2009. Disponível em: <[HTTP://www.rainhadapaz.g12.br](http://www.rainhadapaz.g12.br)> Acesso em 20/12/2009.

GAMACHE, J F; HOUZE, R A JR. Mesoscale air motions associated with a tropical squall line. **Mon. Wea. Rev.** v. 110, p. 118-135, 1982.

GARSTANG, M; MASSIE, H L; HALVERSON, JR J; GRECO, S; SCALA, J. Amazon coastal squall lines. Part I: Structure and kinematics. **Mon. Wea. Rev.** v. 122, p. 608-622. 1994.

GU, D; PHILANDER, S G H. Secular changes of annual and interannual variability in the tropics during the past century, **J. Climate.** v. 8, p. 864-876, 1995.

INDICE OSCILAÇÃO SUL (IOS), 2009. Disponível em: <[HTTP://http://www.ncdc.noaa.gov](http://www.ncdc.noaa.gov)> Acesso em 29/12/2009.

HASTENRATH, S; LAMB. **Climatic atlas of the tropical atlantic and eastern Pacific oceans.** University of Wisconsin Press, p. 177, 1977.

KERN, D C; COSTA, M L. Os solos antrópicos. In: LISBOA, P. L. B. (Org.) Caxiuanã. Belém: MPEG, p. 105-119, 1997.

KODAMA, Y M. Large-scale common features of subtropical precipitation zones (the Baiu frontal zone, the SPCZ, and the SACZ), Part I: Characteristics of subtropical frontal zones. **J Meteor. Soc. Japan.** v. 70, p. 813–835, 1992.

KODAMA, Y M. Large-scale common features of sub-tropical convergence zones (the Baiu frontal zone, the SPCZ, and the SACZ), Part II: Conditions of the circulations for generating the STCZs. **J. Meteor. Soc. Japan.** v. 71, p. 581–610, 1993.

KOUSKY, V E. Frontal influences on Northeast Brazil. **Mon. Wea. Rev.** v. 107, p. 1140-1153, 1979.

LIEBMANN, B et al. Submonthly convective variability over South America and the South Atlantic Convergence Zone. **Journal of climate.** v. 12, p. 1877 – 1891. Jul, 1999.

LINDZEN, R S. Atmospheric Tides. **Annual review earth planet science**, 1979

LOUREIRO, R S; GOMES, R G; ROCHA, E J P. Análise de linhas de instabilidade costeira na região leste do estado do Pará. **Revista brasileira de meteorologia.** v. 21, p. 258 – 270, 2006.

MADDEN, R A; JULIAN, P R. Detection of a 40 – 50 days oscillation in the zonal wind in the tropical Pacific. **Journal of the atmospheric science.** v. 28, p. 702 – 708. Jul, 1971.

METEOROLOGIA APLICADA A SISTEMAS DE TEMPO REGIONAIS (MASTER), 2009. Disponível em: <[HTTP://www.master.iag.usp.br](http://www.master.iag.usp.br)>. Acesso em 22/12/2009

MATTHEWS, A J. Propagation mechanisms for the Madden-Julian Oscillation. **Journal of the royal meteorological society**. v. 126. p. 2637 – 2651. 2000.

MAYERS, S D; KELLY, B G; O'BRIEN, J J. An Introduction to wavelet analysis in oceanography and meteorology: with application to the dispersion of Yanai Waves. **Mom. Wea. Ver.** v. 121, p. 2858-2866, 1993.

MOLION, L C B. Climatologia dinâmica da região amazônica: mecanismos de precipitação. **Revista brasileira de meteorologia**. v. 2, p. 107 – 117, 1987.

MOURA, M A L et al. Evidências observacionais das brisas do lago da Balbina (Amazonas) e seus efeitos sobre a concentração de ozônio. **Act Amazônica**. v. 34(4), p. 605-611. 2004.

NIÑO, 2009. Disponível em: <[HTTP://www.meteopt.com](http://www.meteopt.com)>. Acesso em 29/12/2009.

NOGUEIRA, D N. **Aspectos observacionais e numéricos da interação floresta – atmosfera na Amazônia Oriental: fenômenos turbulentos noturnos**. 2008. p. 141. Dissertação de Mestrado (Ciências Ambientais), Universidade Federal do Pará, UFPA. Belém, 2008.

OSCILAÇÃO MADDEN – JULIAN (OMJ), 2009. Disponível em: <[HTTP://www.cpc.noaa.gov](http://www.cpc.noaa.gov)>. Acesso em 26/12/2009

PONTES, A L; DIAS, M A F; VITORINO, M I. Análise de casos de precipitação intensa na transição entre a estação seca e chuvosa de 2002 em Rondônia através da técnica da transformada de ondeleta. 2006. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 14, Florianópolis – SC, 2006. **Anais...** Florianópolis – SC, 2006. CD-ROM.

RIEHL, H. Waves in the easterlies and the polar front in the tropics. **Misc Rept.** v. 17, p. 79, 1945.

SERRA, A. Climatologia do Brasil, geografia e história-massas de ar. **Bol. Geográfico**. v. 33(245), 1975.

SOUZA, A S; NECHET, D. Influencia de sistema frontal na Amazônia Oriental: estudo de caso. Disponível em: <www.criatividadecoletiva.net>. Acesso em 19/12/2009

SILVA, D F; SOUZA, F A S; KAYANO, T M. Uso de IAC e ondeletas para análise da influência das múltiplas escalas temporais na precipitação da bacia do Rio Mundaú. **Engenharia Ambiental – Espírito Santo do Pinhal**. V. 6, p. 180 – 195. 2009.

SOUZA, E B; AMBRIZZI, T. Modulation of intraseasonal rainfall over tropical Brazil by the Madden – Julian Oscillation. **International journal of climatology**. Fev, 2006.

SOUZA, E B; KAYANO, M T; AMBRIZZI, T. Intraseasonal and submonthly variability over the eastern Amazon and northeast Brazil during the autumn rainy season. **Theoretical and applied climatology**. v. 81, p. 177–191, 2005.

SERVIÇO METEOROLÓGICO MARINHO (SMM), 2009. Disponível em: <HTTP://www.mar.mil.br/dhn/chm/meteo/index.htm>. Acesso em: 22/12/2009

SUN, W Y; ORLANSKY, I. Large mesoscale convection and sea breeze circulation. Part I: Linear stability analysis. **Journal of the atmospheric science**. v. 38(8), p. 1675-1693. 1981.

TORRENCE, C; COMPO, G P. A Practical guide to wavelet analysis. **Bulletin of the american meteorology society**. v. 79, p. 61–78. Jan, 1998.

VITORINO, M I. **Análise das oscilações intrasazonais sobre America do Sul e oceanos adjacentes utilizando a análise de ondeletas**. 2003, p. 344. Tese de Doutorado (Meteorologia). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE. São José dos Campos, 2003.

VITORINO, M I; DIAS, P L S. A Multiplicidade das escalas temporais na variação da temperatura em São Paulo. 2004. In: CBMET - METEOROLOGIA E O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, 13, Fortaleza – CE, 2004. **Anais...** Fortaleza – CE: SBMET, 2004.

WANG, B; WANG, Y. Temporal structures of the southern oscillation as revealed by waveform and wavelet analysis. **J. Climate**. v. 9. p. 1586-1598. 1996.

WENG, H; LAU, K M. Wavelets, period doubling and time frequency localization with application to organization of convection over the tropical western Pacific. **Journal of the atmospheric science**. v. 51. p. 2523 – 2541. Set, 1994.

YAMAZAKI, Y; RAO V B. Tropical cloudiness over South Atlantic ocean. **Journal of meteorology society Japan**. v. 55(2). p. 205 – 207. 1977.

ZONA DE CONVERGENCIA DO ATLANTICO SUL (ZCAS), 2009. Disponível em: <HTTP://www.simerj.com>. Acesso em: 21/12/2009.

ZONA DE CONVERGENCIA INTERTROPICAL (ZCIT), 2009. Disponível em: <HTTP://www.meteopt.com>. Acesso em 21/12/2009.