



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS



EXTREMOS DE CHUVA NA CIDADE DE SÃO PAULO: PADRÕES ATMOSFÉRICOS

**RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA
(PIBIC/CNPq/INPE)**

Ana Caroline Penna (Universidade Federal de Itajubá, Bolsista
PIBIC/CNPq)
E-mail: acarol.penna@gmail.com

Giovanni Dolif Neto (GPT/CPTEC/INPE, Orientador)
E-mail: giodolif@gmail.com

Julho de 2014

RESUMO

Desastres naturais despertam grande interesse para áreas como: jornalismo, política e estudos científicos. Os desastres naturais que ocorrem no Brasil são expressivamente associados a sistemas atmosféricos, principalmente os que envolvem eventos extremos de precipitação. As consequências desses desastres podem ser minimizadas ao serem realizadas previsões de tempo com alta taxa de confiabilidade e com uma antecedência segura para serem tomadas as devidas providências evitando assim, maiores transtornos perante a sociedade. Esta função se torna ainda mais importante em um país de grande extensão territorial onde são observadas distintas condições atmosféricas atuantes dependendo da região em estudo. Este trabalho tem como objetivo analisar eventos extremos de chuva ocorridos na cidade de São Paulo para o período entre 2000 e 2010 e estudar as condições atmosféricas atuantes associadas aos eventos não só durante a ocorrência do mesmo, mas também nos três dias antecedentes. A metodologia usada neste estudo consistiu em utilizar os dados de precipitação acumulada, fornecidos pelo Centro de Gerenciamento de Emergências de São Paulo (CGESP) e em seguida filtrar os eventos que seriam caracterizados como chuva excessiva da seguinte forma: tomando-se os dias em que o valor da precipitação acumulada era maior do que 0,3 mm e calculando o percentil destes a 0,99, encontrando assim o valor de 50,7 mm. Para fins comparativos, optou-se por utilizar o limiar de 50 mm de acumulado diário para se definir um evento extremo de chuva, levando em conta a extensão da cidade de São Paulo, o que torna esse limiar altamente capaz de deflagrar desastres naturais na região. Dessa forma os eventos selecionados possuíam uma média de precipitação acumulada na cidade (a partir dos 32 pluviômetros instalados) maior do que o valor de 50 mm e estavam associados principalmente aos seguintes sistemas: 50% dos casos por atuação de frentes frias, 13,6% pela Zona de Convergência do Atlântico Sul e 36,4% a sistemas não sinóticos. Após a identificação das datas dos eventos extremos de chuva, os valores de precipitação acumulada das mesmas e de mais três dias antecedentes foram correlacionadas às variáveis fornecidas pelo modelo ETA40 para os mesmos dias. Como resultado, foram selecionadas as variáveis que apresentavam maiores valores de correlação (maior do que 0,5 em módulo). Destas variáveis as que melhor apresentaram

o índice de detecção foram: água precipitável, umidade específica nos níveis entre 500 e 650 hPa e umidade relativa nos níveis entre 500 e 650 hPa.

RAIN EXTREMES IN THE CITY OF SÃO PAULO: ATMOSPHERIC PATTERNS

ABSTRACT

Natural disasters arouse great interest to fields such as journalism, politics and scientific studies. Natural disasters that happen in Brazil are expressively associated with atmospheric systems, especially those involving extreme precipitation events. The consequence this disaster can be minimized by being made forecasts with high reliability rate and advance to secure the necessary steps be taken thus avoiding further problems in society. This function becomes even more important in a country with a large territory where different weather depending on the active region under study are observed. This work aims to analyze extreme rainfall events occurred in the city of São Paulo for the period between 2000 and 2010 and study the active weather events associated not only during its occurrence, but also in the previous three days. The methodology used in this study was to use data accumulated rainfall, provided by the *Centro de Gerenciamento de São Paulo (CGESP)* and then filter the events that would be characterized as excessive rainfall in the following way: taking up the days the value of the accumulated precipitation was bigger than 0.3 mm, and calculating the 0.99 percentile thereof, thus finding the value of 50.7 mm. For comparative purposes, we chose to use the lower limit of 50 mm of accumulated daily to define an extreme rain event, taking into account the extension of the city of São Paulo, which makes this highly capable of generating limit natural disasters in region. Thus the selected events had an average of accumulated rainfall in the city (from 32 rain gauges installed) greater than the value of 50 mm and were mainly associated with the following systems: 50% of cases by action of cold fronts, 13.6 % for the Convergence Zone South Atlantic and 36.4% non synoptic systems. After identifying the dates of extreme rainfall events, the values of accumulated precipitation and the same three days antecedents were correlated with variables given by ETA40 model for the same days. As a result, the variables with the greatest correlation values (greater than 0.5 in module) were selected. The best of

these variables showed that the detection rate were perceptible water, specific humidity levels between 500 and 650 hPa and relative humidity levels between 500 and 650 hPa.

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
Figura 1.1 – Unidades climatológicas atuantes na cidade de São Paulo.....	14
Figura 2.1 Estações pluviométricas da CGESP na cidade de São Paulo separadas por suas respectivas zonas. Fonte: CGESP	22
Figura 2.2- Gráfico da precipitação média acumulada em 24 h para o período entre janeiro de 2000 e dezembro de 2010.	23
Figura 2.3- O gráfico representa a porcentagem nas quais ocorreram os acumulados horários de precipitação para os EECs.	28
Figura 2.4- Exemplo das rodadas utilizadas do modelo ETA40 para analisar um evento que ocorresse no dia 26 de Janeiro de 2000.	28
Figura 2.5 Pontos de grade representando as estações meteorológicas de Congonhas e Santana.	29
Figuras 2.6 Gráfico da precipitação acumulada em 24h para os 22 EECs em São Paulo entre os anos de 2000 e 2010. Cada evento apresenta o acumulado de quatro dias (dia do evento mais os três dias anteriores).....	30
Figura 3.1 Frequência Mensal dos Eventos Extremos de Chuva (EECs) na cidade de São Paulo de 2000 a 2010, divididos por sistema sinótico associado: sistema Não-Sinótico (NS), Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e Frente Fria (FF).....	33
Figura 3.2 Frequência anual de Eventos Extremos de Chuva na cidade de São Paulo no período de 2000 a 2010, divididos por sistema sinótico: sistema Não-Sinótico (NS), Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e Frente Fria (FF).....	34
Figura 3.3 Quantidade de precipitação e ponto de alagamento a partir do quinto Evento Extremo de Chuva na cidade de São Paulo.....	35
Figura 3.4 Média de água precipitável para a superfície terrestre (entre os anos de 1988 e 1992). Fonte: Yamasaki, Y. (2006)	37
Figura 3.5 Evolução temporal da Radiação de Onda Longa Emergente para três casos de EEC. O eixo horizontal representa os três horários modelados para os quatro dias em análise.	40
Figura 3.6 Evolução temporal da Umidade Específica (umes) em diferentes níveis, para três casos de EEC. O eixo horizontal representa os três horários modelados para os quatro dias em análise.	42

LISTA DE TABELAS

Pág.

Tabela 1- Lista dos 22 EECs na cidade de São Paulo desde 2000 até 2010 com os valores acumulados médios das 07h, 13h, 19h e 00h, precipitação média em 24h e sistema sinótico associado: Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), Frente Fria (FF), e não-sinótico.	25
Tabela 2 – Variáveis do modelo ETA40 com correção em módulo maior do que 0,5 e significância estatística maior que 0,95 no teste T-Student.	38

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
1 INTRODUÇÃO.....	12
1.1. Clima na Cidade de São Paulo	13
1.2. Sistemas Atmosféricos e a precipitação na cidade de São Paulo.....	14
1.3. Previsão de Extremos de Chuva	18
1.3.1. Sistemas de Alerta na Cidade de São Paulo.....	18
1.3.2. Formas de Detecção de Eventos Extremos	20
2 DADOS E METODOLOGIA.....	22
2.1. Dados de Precipitação	22
2.2. Evento Extremo de Chuva (EEC).....	24
2.3. Dados do Modelo ETA40.....	26
2.4. Dados da Previsão Numérica do Tempo (PNT) do modelo ETA40.....	26
2.5. Variáveis Meteorológicas Utilizadas.....	29
3 RESULTADOS	32
3.1. Registro de EECs na cidade de São Paulo nos anos de 2000 a 2010	32
3.2. Variáveis Meteorológicas	36
3.3. Análise das variáveis em alguns casos de EECs	39
3.3.1. Radiação de Onda Longa Emergente (ROLE)	39
3.3.2. Umidade Específica e Umidade Relativa.....	41
4 CONCLUSÃO.....	44
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas tem-se presenciado o aumento em número e intensidade de desastres naturais. Alguns dos deflagradores de desastres naturais que ocorrem no Brasil são: inundações, escorregamentos de terra, tempestades, seca, temperaturas extremas, incêndios florestais e terremotos. Destes, os mais recorrentes são as inundações, devido a eventos extremos de precipitação (MARCELINO, 2007).

Vale ressaltar que os desastres naturais no Brasil são expressivamente causados por sistemas atmosféricos, principalmente, os responsáveis por altas taxas de precipitação. Na região Sudeste do Brasil os sistemas atuantes que mais causam esses eventos são: Frentes Frias (FF) e atuação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) (LIMA, SATYAMURTI, 2010). Segundo o relatório do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) (IPCC,2007), foi observado um aumento da precipitação nas regiões sul e sudeste no Brasil.

MINUZZI, (2007), concluiu que o período chuvoso tem início precoce em grande parte do litoral paulista, ocorrendo em meados do mês de setembro. Através de regressões lineares, pôde ser observado que existe uma forte relação entre o período chuvoso, a duração do mesmo e a quantidade de precipitação nesse período. Já Alves et al. (2005) utilizaram diversos limiares para mostrar que, em média o início da estação chuvosa na região Sudeste do Brasil ocorre na pênstada 57 (entre 8 e 12 de outubro). Desde meados da década de 1970, o período chuvoso tem iniciado precocemente e durado mais, no Sudeste do Brasil. (MINUZZI, 2007)

Outro fator importante refere-se à distribuição espacial e temporal de eventos de precipitação. Segundo o estudo de Haddad, (2013) na cidade de São Paulo, cada ponto de alagamento é responsável por uma perda econômica média de R\$ 1 milhão para o Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro, o que denota em uma perda de aproximadamente R\$ 700 milhões anualmente no país.

1.1. Clima na Cidade de São Paulo

Segundo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2013), a Região Metropolitana de São Paulo é constituída por 39 municípios, dentre eles São Paulo que possui uma população estimada em 11.821.873 e área da unidade territorial de 1.521,101 km².

As normais climatológicas feitas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) para o período entre 1961 a 1990 informam que as temperaturas médias na cidade durante o verão ficam em torno de 22°C enquanto no inverno é de 16,5°C. O maior índice de precipitação ocorre no mês de Janeiro, o valor da normal climatológica para o mesmo período é de 250 mm. Os menores valores ocorrem nos meses de inverno, chegando a 16 mm no mês de Julho. As estações de transição (outono e primavera) apresentam valores médios. Sendo assim, a cidade de São Paulo se caracteriza por possuir um verão quente e chuvoso e um inverno frio e seco.

As unidades climatológicas atuantes na cidade de São Paulo foram estudadas por TARIFA e ARMANI, (2000). O primeiro clima do município de São Paulo foi definido como Clima Tropical Úmido de Altitude do Planalto Atlântico, abrangendo a área da Bacia Sedimentar de São Paulo (I). O segundo clima foi definido como Clima Tropical Úmido Serrano da Cantareira – Jaraguá (II). A face Norte (setentrional) da Serra da Cantareira e do Pico do Jaraguá, foi definido com outro clima local, denominado Clima Tropical Úmido de Altitude do Alto Juquerí (III). Ao Sul da represa de Guarapiranga foi definido outro clima local, denominado Clima Tropical Sub-oceânico Superúmido do Reverso do Planalto Atlântico (IV). O último clima local definido para o Município de São Paulo foi denominado Clima Tropical Oceânico Super-úmido da fachada Oriental do Planalto Atlântico (V).

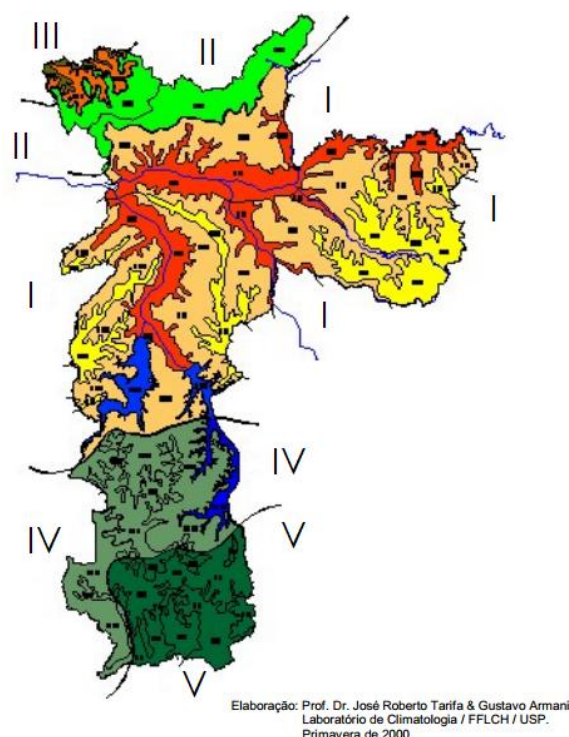


Figura 1.1 – Unidades climatológicas atuantes na cidade de São Paulo.

1.2. Sistemas Atmosféricos e a precipitação na cidade de São Paulo

Conforme mencionado anteriormente, as Frentes Frias (FF) são um dos mais importantes sistemas atmosféricos que provocam precipitação do sudeste do Brasil. As FF são caracterizadas pelo avanço do ar frio sob o ar quente. Nesses casos ocorre um levantamento do ar quente e úmido a partir da massa de ar frio e seca que é mais densa e adentra sob a massa quente. Havendo umidade suficiente, adiante dessa massa de ar quente que ascende, podem ocorrer: precipitação, fortes tempestades com granizos e raios. Sobre as FF que atingem a cidade de São Paulo, MORAIS, (2010) apresentou uma avaliação sobre 21 anos de dados para a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) e concluiu que, em média, de três frentes frias ao mês atingem a região, sendo estas mais frequentes nos meses de março a maio e de agosto a dezembro.

Outro dos principais eventos de larga escala que caracteriza o regime de chuvas da região é a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). A ZCAS ocorre

predominantemente no período que vai de outubro a março. Ela se resume a uma banda de umidade e precipitação no sentido noroeste-sudeste que corre o Sul da Amazônia até o Atlântico Sul-Central. Este sistema influencia as anomalias de precipitação que ocorrem nas regiões sudeste e sul do país. Os períodos de verão em que ocorrem grandes enchentes na região sudeste do Brasil estão relacionados à permanência por vários dias de um sistema de ZCAS (CPTEC, 2013).

Uma síntese sinótica fornecida pelo CPTEC para o mês de Fevereiro de 2007 constatou um episódio de clássico de ZCAS com duração de 10 dias, se iniciando no dia 30 de Janeiro e persistindo até o dia 9 de Fevereiro (CPTEC, 2013). Este evento causou chuvas significativas em várias localidades dos estados de SP, MG, GO, MT e PA, sendo que entre os dias 7 e 8 de Fevereiro, na cidade de São Paulo, foi registrado um acumulado diário de chuva de 103,3 mm, o que ocasionou diversos transtornos à cidade.

Além de sistemas de escalas sinóticas atuantes sobre a região, outros fatores que provocam evolução diária de sistemas convectivos na cidade de São Paulo são as ilhas de calor provocadas pela urbanização e a brisa marítima vinda da costa da região sudeste. As pancadas de chuva ocorrem em maior frequência durante o período de verão em casos onde atividades de escalas sinóticas não se fazem presentes, portanto não são capazes de influenciar os mecanismos de chuvas locais (Silva Dias, 1997; Pereira Filho, 1991). No dia 14 de fevereiro de 2013, por exemplo, um forte temporal atingiu a capital paulista, vários pontos da cidade registraram alagamentos que prejudicaram o tráfego de veículos, aviões e linhas de metrô. A estação meteorológica do aeroporto de Congonhas registrou 189 mm. Esta chuva foi ocasionada por uma célula convectiva de forte desenvolvimento, e neste caso de evento extremo de precipitação, sem estar ligada a qualquer evento de escala sinótica.

A crescente urbanização da cidade de São Paulo acarreta em cada vez mais, maiores efeitos da ilha de calor. XAVIER (1992) estudou a tendência da pluviometria para a cidade de São Paulo através de 56 postos pluviométricos localizados na cidade para os anos de 1960 a 1989. Após uma análise estatística de coerência, tendência, quase ciclo e comparativa dos dados mensais e trimestrais dos acumulados de precipitação, concluiu-

se que ocorre um déficit de precipitação nos meses de outono inverno e primavera e um superávit nos meses de verão para os postos pluviométricos que se localizavam na região central da cidade.

PEREIRA FILHO, (2000), estudou 14 casos de chuva em fevereiro de 1998 na cidade de São Paulo e constatou que, apesar da redução das chuvas nesse período por conta de uma forte atuação de um evento de El Niño (caracterizado por anomalias positivas de temperatura da superfície do mar do oceano pacífico equatorial), a convecção local em um pequeno intervalo de tempo foi cerca de 40% maior que a média da área e ocasionava grandes pontos com enchentes pela cidade. Nesses casos, os eventos estavam relacionados às chuvas convectivas no período da tarde que são mais intensas. Quando a circulação horizontal e vertical da atmosfera é maior, devido à formação de ilhas de calor ocasionada pela urbanização da região em combinação com a umidade marítima originada da brisa, o potencial da precipitação também se torna elevado.

Os efeitos da brisa marítima sobre a cidade de São Paulo aumentam a probabilidade de ocorrência de intensas precipitações e são comumente observados a partir das 16UTC (Borges, 2000). A observação da brisa está diretamente relacionada a um aumento da temperatura de ponto de orvalho e mudança na direção dos ventos até às 20UTC. Observou-se também, neste estudo, que a precipitação média acumulada na cidade de São Paulo começa a crescer em 1530UTC e atinge o máximo em 20UTC. Soares e Silva Dias (1986) também constataram a penetração da brisa marítima na cidade de São Paulo, e atentam para a alta probabilidade de mudança na direção dos ventos de NE ou NO para SE. Junto a isso também estão as altas taxas de precipitação e aumento da umidade relativa. Um aspecto importante deste estudo constatou que a inserção da brisa marítima na cidade de São Paulo apresenta pouca variação sazonal, porém a intensidade da precipitação apresenta maior probabilidade de ocorrência durante o verão. Ainda neste estudo, foi observado um acréscimo de umidade entre 22 e 23h, a este fato pode estar relacionada à ação da brisa de vale e montanha, que gera um deslocamento de ar frio em direção à cidade e dessa forma diminui a temperatura do ar, aumentando assim a umidade relativa.

Dessa forma ocorrem mecanismos de retroalimentação gerados a partir do desequilíbrio energético local que ocorre, devido às ilhas de calor em conjunto com a brisa marítima. O sistema busca diminuir o aquecimento local utilizando da precipitação. Como a infiltração da água em áreas urbana é muito baixa, com altos índices pluviométricos em pouco intervalo de tempo a capacidade de destruição desses eventos é maior (PEREIRA FILHO, 2000).

Sobre a evolução de extremos de chuva numa escala diária, um estudo realizado por OLIVEIRA (2011) analisou chuvas intensas em 24h na cidade de São Paulo entre os anos de 1943 a 2012 utilizando dados do INMET. Foram selecionados eventos onde ocorriam totais de chuvas acima de 20 mm em 24 horas e em seguida foi observada a evolução de cada um desses eventos para demais limiares de precipitação. Constatou-se que há um aumento na ocorrência de eventos extremos de precipitação entre 70 e 90 mm na região para os últimos 20 anos. Observou-se também que entre os anos de 2000 e 2010 a frequência de eventos de chuva maiores que 120 mm são cada vez maiores, ou seja, o intervalo de tempo entre esses eventos extremos de precipitação tem sido cada vez menor na cidade de São Paulo.

1.3. Previsão de Extremos de Chuva

As consequências dos desastres naturais podem ser minimizadas a partir de medidas tais como: previsão do tempo, controle da ocupação do terreno, alertas de ocorrência de eventos extremos, preparação socioeconômica da população entre outras.

1.3.1. Sistemas de Alerta na Cidade de São Paulo

Alguns órgãos são responsáveis por emitir alertas para a defesa civil e para a sociedade visando evitar maiores impactos de chuvas extremas sobre a população. O principal órgão é o Centro de Gerenciamento de Emergências (CGE), de posse da Prefeitura de São Paulo e é responsável por monitorar as condições meteorológicas da capital. Nesse centro há cooperação de engenheiros, meteorologistas, assessores de imprensa e técnicos em meteorologia e monitoramento.

Durante o período chuvoso, o órgão trabalha adjacente a Coordenadoria Municipal de Defesa Civil (Comdec) através da “Operação Chuvas de Verão”. Esta operação é responsável por prevenir os efeitos provocados por chuvas extremas através de: informações de condições meteorológicas, pontos de alagamento, acumulados significativos de chuvas, entre outros. Não só durante o período chuvoso, mas também no período de seca, o CGE é responsável por monitorar a umidade relativa do ar e durante a época mais fria, informam sobre a temperatura.

Todo monitoramento, é feito por média de um monitoramento integrado de informações através de ferramentas meteorológicas em tempo integral. Algumas dessas ferramentas são:

- a. Radar meteorológico do Sistema de Alerta de Inundações do Estado de São Paulo (SAISP), operado pela Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica (FCTH), instalado em Salesópolis;
- b. Rede telemétrica (medição de chuvas e nível de rios e córregos - SAISP/FCTH);
- c. Estações meteorológicas automáticas do CGE distribuídas nos principais pontos da cidade;
- d. Pluviômetros instalados nas 31 Subprefeituras;
- e. Imagens de satélite (Master/IAG, Cptec, etc.);
- f. Modelos numéricos de previsão;
- g. Radiossondagem (Comando da Aeronáutica);
- h. Metar (código internacional sobre as condições meteorológicas nos aeroportos);
- i. Radares auxiliares: Radares meteorológicos do Comando da Aeronáutica; Radares meteorológicos integrados de Bauru e Presidente Prudente (Unesp); Radar SOS Chuva - Vale do Paraíba (CPTEC/INPE) e Radar do Sistema Meteorológico do Paraná (Simepar);
- j. Dados instantâneos e climatológicos do Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet);
- k. Sistema integrado de rádio;
- l. Observadores locais (agentes da CET, funcionários das Subprefeituras e Defesa Civil, etc.).(CGESP, 2013)

Um dos órgãos que tem associação com o CGE é o Sistema de Alerta de Inundações do Estado de São Paulo (SAISP) citado acima. O SAISP é operado pela Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica (FCTH) e gera boletins sobre as chuvas na cidade de São Paulo. Alguns dos produtos da SAISP são: mapas com previsões de inundações, mapas de chuva observada por um radar local e a leitura de postos das Redes Telemétricas do Alto Tietê, Cubatão, Registro e Piracicaba. Para esses produtos, os elementos são retirados da Rede Telemétrica de Hidrologia do Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo (DAEE) e pelo Radar Meteorológico de São Paulo que está instalado na Barragem de Ponte Nova (SAISP, 2013).

1.3.2. Formas de Detecção de Eventos Extremos

O estudo de DOLIF NETO (2013) utilizou eficientemente o Método Para a Detecção de Padrões Atmosféricos de Eventos Extremos de Chuva (MeDPAt-EEC) para o reconhecimento de padrões atmosféricos que foram associados a Eventos Extremos de Chuvas (EECs) atuantes na cidade do Rio de Janeiro.

A metodologia usada neste estudo consistiu em utilizar os dados de precipitação acumulada, fornecidos pela Fundação Instituto de Geotécnica do Município do Rio de Janeiro (GEORIO) através de 32 pluviômetros instalados no município. Em seguida filtrou-se os eventos que seriam caracterizados como extremos de chuva com base nos dias que possuíam uma média de precipitação maior do que 50 mm (média da precipitação acumulada na cidade utilizando todos os pluviômetros instalados).

Este método foi aplicado às Previsões Numéricas do Tempo (PNTs) geradas pelo modelo operacional atmosférico ETA40. As PNTs utilizadas consistiram do período de 2000 até 2010, sendo estes separados em duas partes: 2000 a 2008 denominado Período Padrão (PP) e de 2009 a 2010 Período Candidato (PC).

Através de correlações entre os dados gerados pelo ETA40 e a chuva média observada na rede da GEORIO, foram despontadas combinações entre variáveis que estiveram mais relacionadas aos eventos extremos de chuva. Destas variáveis a que melhor apresentou o índice de detecção dos eventos extremos foi a combinação entre a umidade relativa e 900 hPa e o vento meridional a 10m de altura.

2 DADOS E METODOLOGIA

2.1. Dados de Precipitação

Os dados de precipitação utilizados no trabalho referem-se aos observados pela rede pluviométrica do Centro de Gerenciamento de Emergências de São Paulo (CGESP) para o período compreendido entre janeiro de 2000 e dezembro de 2010, obtendo-se 10 anos de análises. A rede é composta por 32 pluviômetros dispostos nas regiões separadas por zonas, mostradas na Figura 2.1.

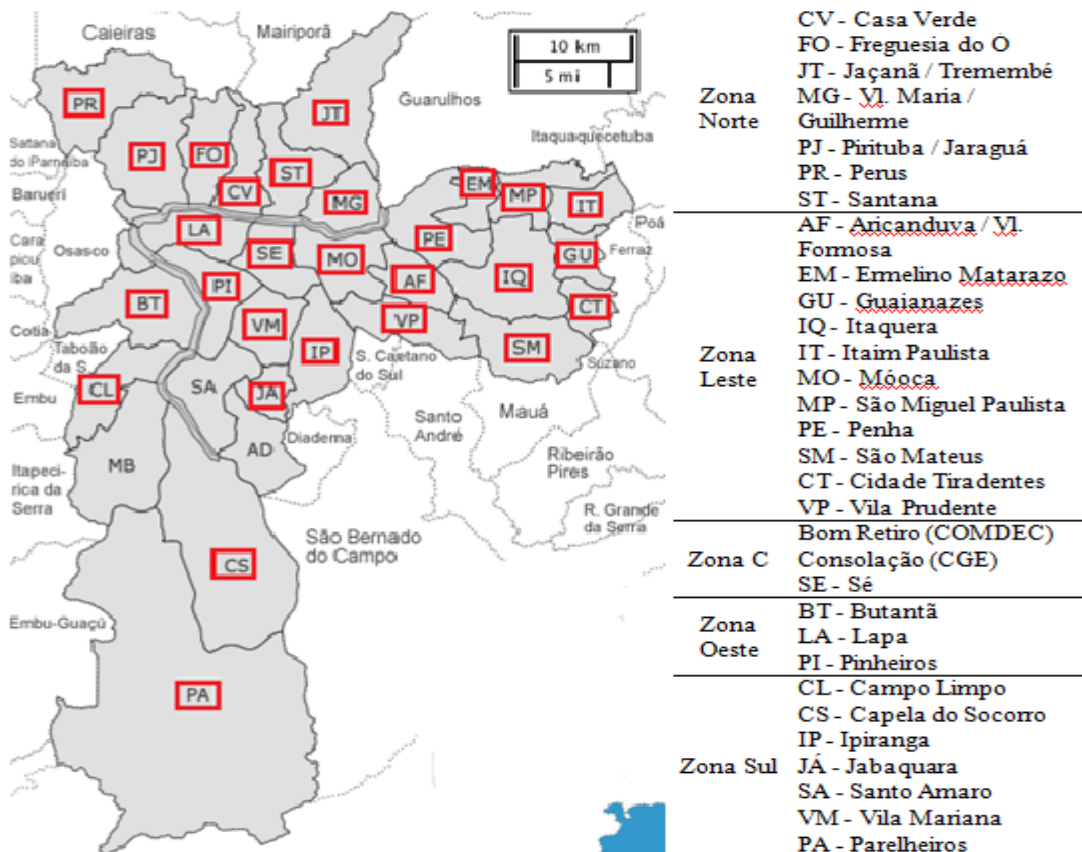


Figura 2.1 Estações pluviométricas da CGESP na cidade de São Paulo separadas por suas respectivas zonas. Fonte: CGESP

Os dados observados pela rede pluviométrica da CGESP correspondem aos acumulados de precipitação para os seguintes horários: 00h às 07h00, 07h00 às 13h00, 13h00 às 19h00 e para 19h00 às 00h. Os totais pluviométricos diários foram obtidos através de acumulados de 24h com início às 00h local do dia analisado até às 00h local do dia seguinte.

Como uma análise preliminar, foram calculadas as médias diárias de precipitação a partir de todas as 32 estações distribuídas pelo município da seguinte forma: após calcular o acumulado de 24 h para cada estação meteorológica foi feita uma média aritmética normal, onde os 32 valores são somados e divididos. A Figura 2.2 mostra os valores médios de precipitação acumulada dos dados para o período de 2000 a 2010. É possível observar que a precipitação na cidade de São Paulo obedece a um ciclo no qual os maiores valores ocorrem nos meses de verão, e os menores ocorrem em meses de inverno.

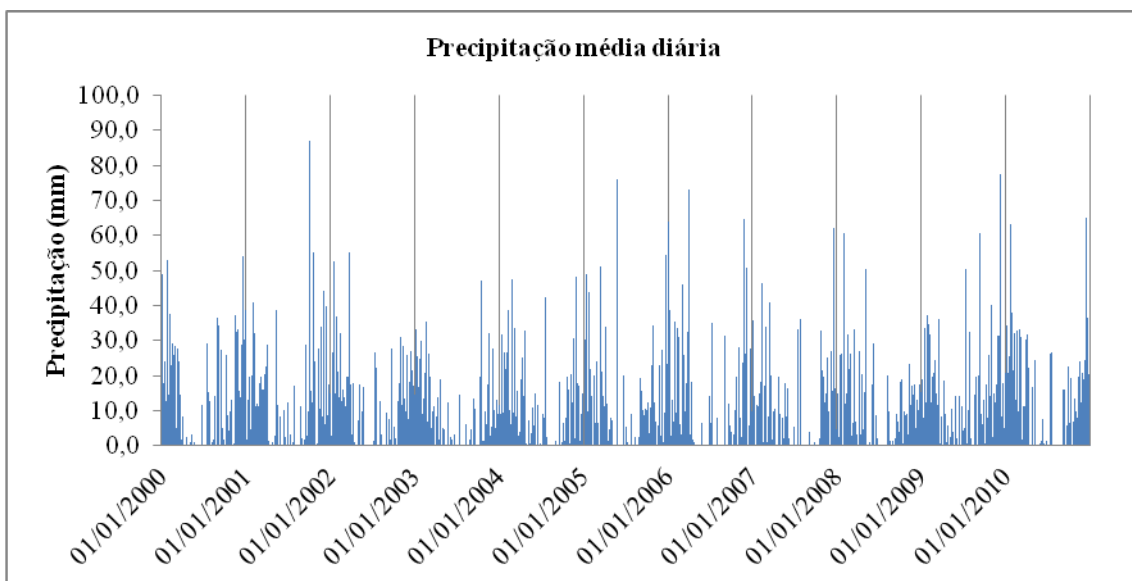


Figura 2.2- Gráfico da precipitação média acumulada em 24 h para o período entre janeiro de 2000 e dezembro de 2010.

2.2. Evento Extremo de Chuva (EEC)

Após calcular as médias de precipitação, foi possível definir o que seria considerado uma quantidade excessiva de chuva para a cidade de São Paulo, sendo esta calculada da seguinte forma: selecionando os dias em que o valor da precipitação média acumulada nos 32 pluviômetros em 24h era maior do que 0,3 mm e calculando o percentil destes a 0,99, encontrando assim o valor de 50,7 mm. O valor encontrado é bem próximo do utilizado pelo Centro de Informações sobre Tempo Severo da Organização Meteorológica Mundial para caracterizar eventos extremos de precipitação, que utiliza o limiar de 50 mm /24 h. Como os dois valores são bem próximos e, considerando que 50 mm de chuva para toda a área que cobre São Paulo representa um grande volume de água capaz de deflagrar desastres naturais, este valor foi considerado como fator para causar um EEC.

A partir da definição, foi identificado um total de 22 EECs, mostrados na tabela 1. Além disso, através do Boletim Climanálise Cavalcanti e de imagens de satélites da Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais (DSA), também foi realizada uma análise sobre quais tipos de sistemas atmosféricos atuavam sobre a região durante os EECs. Como observado na última coluna da tabela 1 e comparado ao estudo de LIMA, SATYAMURTI (2010), os eventos estiveram associados à ocorrência de ZCAS e FF e em alguns casos a sistemas que não possuíam escala sinótica (NS) sendo estes sistemas convectivos isolados ou formações pré-frontais. Também foi possível analisar os principais intervalos de maior valor pluviométrico através dos acumulados horários.

Tabela 1- Lista dos 22 EECs na cidade de São Paulo desde 2000 até 2010 com os valores acumulados médios das 07h, 13h, 19h e 00h, precipitação média em 24h e sistema sinótico associado: Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), Frente Fria (FF), e não-sinótico.

Data	Precipitação Média Horária (mm)				Precipitação Média em 24 horas (mm)	Sistema Sinótico
	07h	13h	19h	00h		
26/01/2000	1,6	48,0	7,2	0,0	52,9	FF
16/12/2000	37,5	0,0	16,7	0,0	54,2	FF
01/10/2001	37,1	43,9	6,1	0,0	87,1	NS
19/10/2001	40,5	0,0	14,7	0,0	55,2	NS
13/01/2002	24,8	11,8	7,7	8,5	52,8	NS
24/03/2002	0,0	17,7	24,8	12,5	55,0	NS
15/03/2005	30,5	2,5	5,2	12,7	51,0	FF
24/05/2005	0,0	0,6	42,6	33,0	76,2	FF
25/05/2005	40,8	0,4	7,1	3,1	51,4	FF
18/12/2005	37,5	1,5	0,0	14,2	54,5	FF
03/01/2006	29,4	0,0	0,4	34,0	63,8	FF
29/03/2006	42,8	18,4	6,0	6,0	73,3	FF
25/11/2006	11,3	0,0	34,3	19,2	64,7	NS
04/12/2006	0,0	0,0	41,3	9,5	50,8	NS
19/12/2007	2,3	17,4	42,0	0,1	62,2	ZCAS
29/01/2008	5,6	37,2	17,1	2,4	60,8	NS
02/05/2008	2,6	24,2	18,8	4,3	50,5	FF
11/07/2009	11,5	16,2	24,4	0,5	50,3	FF
08/09/2009	0,0	52,5	11,9	3,7	60,5	NS
08/12/2009	59,7	13,1	3,0	1,7	77,4	ZCAS
21/01/2010	54,9	0,0	0,0	8,2	63,1	ZCAS
13/12/2010	22,5	0,0	42,1	1,5	65,0	FF

2.3. Dados do Modelo ETA40

O modelo atmosférico ETA é um modelo de previsão regional utilizado operacionalmente no Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). As condições iniciais do modelo são fornecidas pelas análises do National Centers for Environmental Prediction (NCEP). Este modelo possui dados para 38 camadas verticais (superfície até 50 hPa), resolução horizontal de 40 Km entre cada ponto de grade e adota as coordenadas ETA (η), a letra grega dá o nome ao modelo que cobre praticamente toda a América do Sul.

O modelo ETA40 foi integrado ao CPTEC no ano de 1996 para complementar a previsão numérica de tempo realizada pelo modelo global em 1995. A resolução espacial do modelo permite maior sensibilidade para “enxergar” eventos de mesoescala, como frentes, orografia e tempestades severas. Por serem sistemas que atuam e se modificam rapidamente na atmosfera, este modelo apresenta previsões confiáveis para prazos curtos intervalos de tempo, se estendendo até 48h. Ele é integrado duas vezes ao dia, essas integrações podem ser intituladas “rodadas” do modelo, e usam as condições iniciais das 0000 UTC e 1200 UTC para gerar a previsão de possíveis estados atmosféricos.

Neste trabalho serão utilizados os dados do modelo ETA40 para o mesmo período dos dados observados da rede pluviométrica de CEGESP, entre os anos de 2000 a 2010. Os horários e datas utilizadas serão explicados posteriormente.

2.4. Dados da Previsão Numérica do Tempo (PNT) do modelo ETA40

Os dados de PNT do modelo ETA40 foram utilizados para criar a correlação existente entre uma determinada variável atmosférica e o EEC. Essa relação torna possível entender que certos fatores atmosféricos são responsáveis por gerar sistemas que causem volume pluviométrico considerável a deflagrar um EEC.

Cada rodada do modelo gera previsões com intervalos a cada 6 horas a partir da condição inicial. Para este trabalho foram utilizadas as rodadas iniciadas às 0000 UTC para as 0600 UTC (previsão com prazo de 06 horas) e das 1200 UTC com análise para as 1200 UTC e previsão para 18000 UTC (previsão com prazo de 06 horas). Essa escolha foi realizada de modo que se minimizassem as diferenças entre: o período de 24 horas de precipitação acumulada dos dados observados pela CGESP que são compreendidos das 00h local (0300 UTC) do dia anterior até as 00h (0300 UTC) do dia do evento e o período de 24h dados pelo modelo, das 21h local (0000 UTC) do dia anterior até às 21h local (0000 UTC) do dia do evento.

Dessa forma os dados utilizados da PNT foram somente os compreendidos entre as 0600 UTC (03h local) do dia do evento até as 1800 UTC (15h local) também do dia do evento. Qualquer dado fornecido pela PNT após as 1800 UTC poderiam influenciar nas respostas dos padrões atmosféricos.

Outro fator a ser analisado para ser possível essa correção dos horários pode ser observado na figura 2.3. É possível perceber que 87% da precipitação ocorreram entre 00h e 19h, sendo assim a diferença das 6 horas finais de dados da PNT pode ser desprezado sem comprometer o resultado final.

Além dos dados de PNT para o dia do evento, também foram selecionados três dias anteriores para três rodadas de horários do modelo, como é mostrado na figura 2.4, de forma que fosse possível observar a evolução de escoamentos atmosféricos até o dia do EEC. Essas três rodadas são identificadas por:

- a. 00 z → 12 z: previsão para as 06 Z do dia a partir da rodada inicializada às 00 z da mesma data.
- b. 12 z → 12 z: análise das 12 Z do dia para 12 Z da mesma data.
- c. 12 z → 18 z: previsão para as 18 Z do dia a partir da rodada inicializada às 12 z da mesma data.

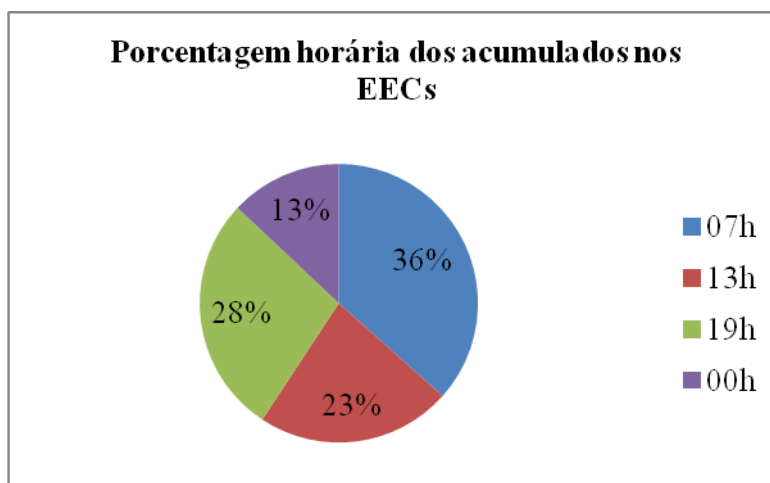


Figura 2.3- O gráfico representa a porcentagem nas quais ocorreram os acumulados horários de precipitação para os EECs.

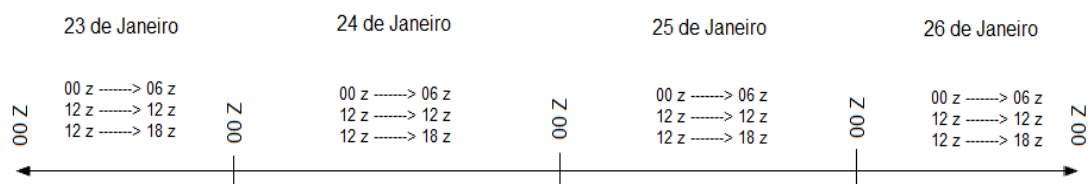


Figura 2.4- Exemplo das rodadas utilizadas do modelo ETA40 para analisar um evento que ocorresse no dia 26 de Janeiro de 2000.

2.5. Variáveis Meteorológicas Utilizadas

O modelo ETA40 leva em consideração 220 variáveis meteorológicas, mas somente as de maior relevância para o estudo foram utilizadas a fim de otimizar o tempo computacional. Estas foram extraídas através do método de correlação com os dados observados pelos pluviômetros da CGESP.

Para o cálculo da correlação foi necessário restringir certo ponto de grade do modelo que melhor coincidissem com a cidade de São Paulo. Os pontos estabelecidos correspondem às coordenadas $x=92$ e $y=68$. Esse ponto de grade é próximo às estações meteorológicas de Congonhas e Santana (figura 2.5) e possui altitude de 841 m acima do nível do mar.

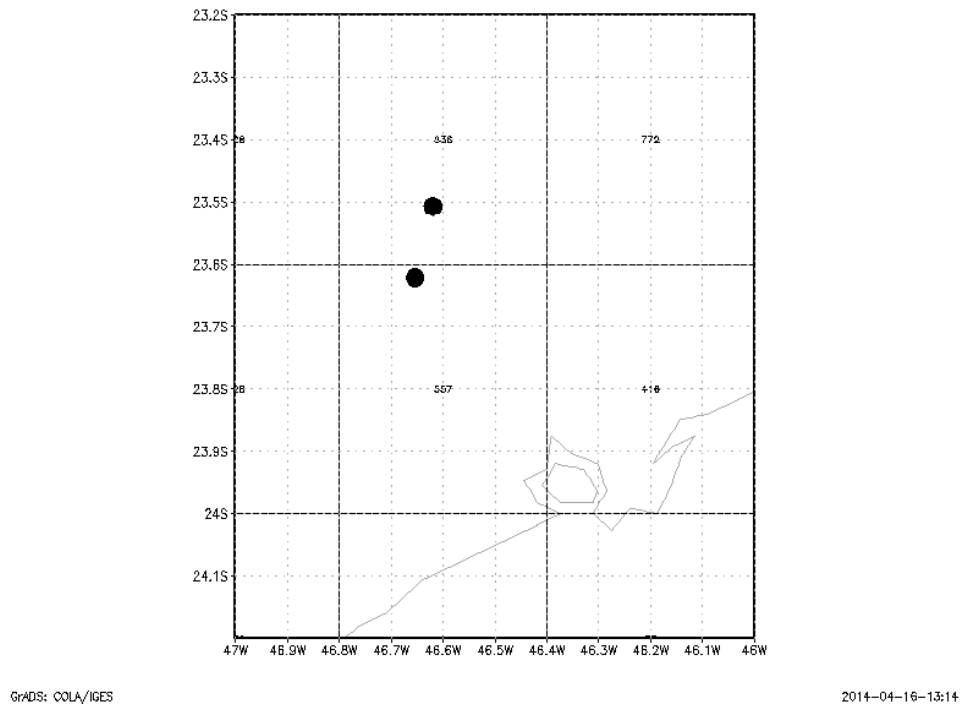
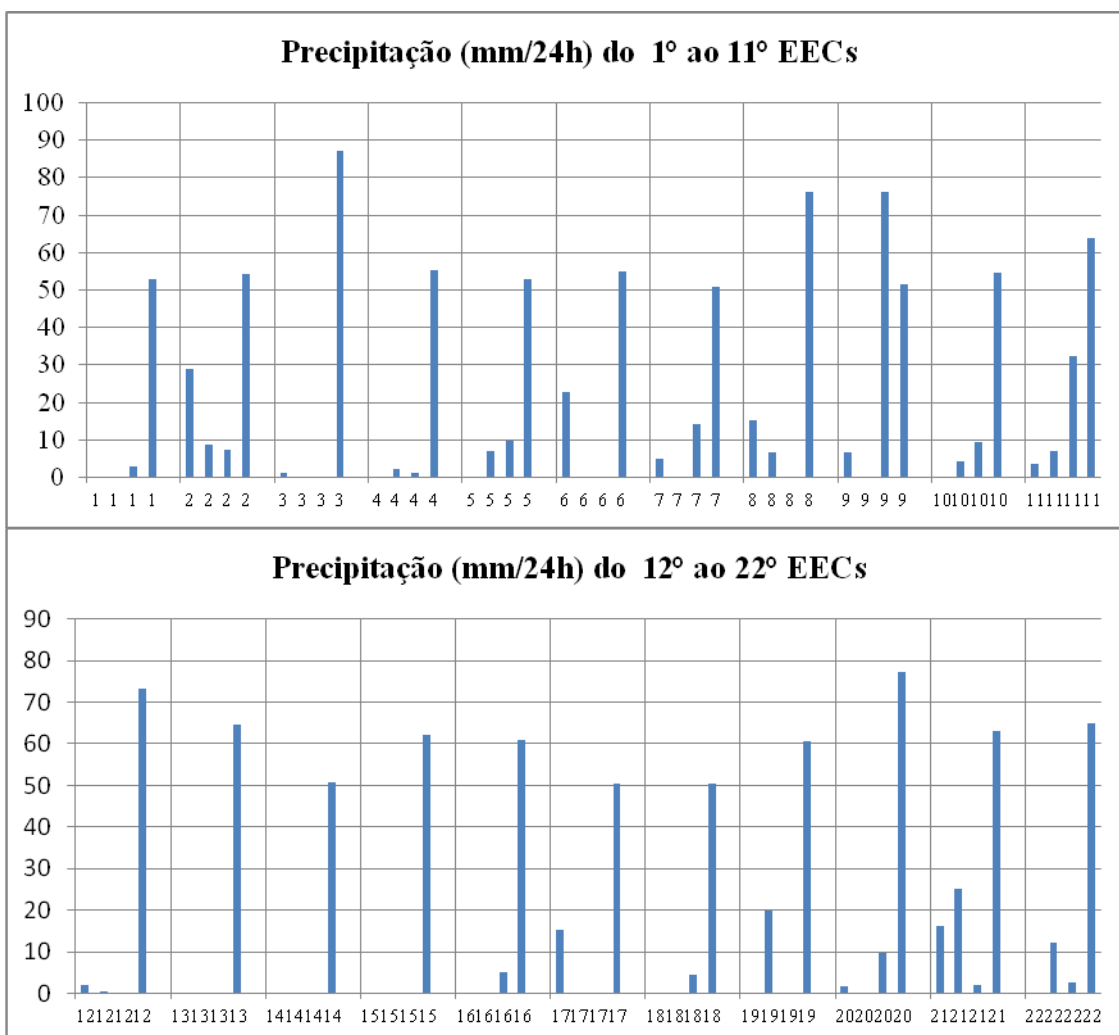


Figura 2.5 Pontos de grade representando as estações meteorológicas de Congonhas (ponto inferior) e Santana (ponto superior).

A princípio as 220 variáveis foram extraídas para o ponto de grade definido na data do evento e mais três dias antes. Dos dados observados pela CGESP também foram extraídos os valores médios diários das 32 estações para os três dias anteriores (figura 2.6).

O método de correlação entre os dados observados e os dados da PNT foi aplicado para os quatro dias em análise. As variáveis que apresentaram em módulo valor de correlação maior do que 0,5, com significância estatística de 0,95 no teste T-Student, foram selecionadas.



Figuras 2.6 Gráfico da precipitação acumulada em 24h para os 22 EECs em São Paulo entre os anos de 2000 e 2010. Cada evento apresenta o acumulado de quatro dias (dia do evento mais os três dias anteriores).

3 RESULTADOS

3.1. Registro de EECs na cidade de São Paulo nos anos de 2000 a 2010

Foram identificados 22 EECs, como foi mostrado na tabela 1. Pela análise dos sistemas atuantes na atmosfera nas datas dos eventos, é possível observar que 11 (50%) dos casos estavam relacionados à FF, 3 dos casos (13,6%) à ZCAS e 8 (36,4%) estavam relacionados à eventos que não eram caracterizados por possuírem escala sinótica (NS).

Através da distribuição mensal mostrada na figura 3.1, nota-se que os meses de dezembro e janeiro são os que mais possuem EEC e são os únicos meses em que esses eventos estão associados à formação de ZCAS. Esses resultados são esperados, já que durante os meses de verão, há maior convergência de umidade vinda da Amazônia causando grandes volumes pluviométricos na região sudeste do Brasil, relacionadas à permanência por vários dias de um sistema de ZCAS (CPTEC, 2013).

Os meses de maio e dezembro são os que mais apresentam FF associadas aos extremos de precipitação, com a ocorrência de três FF em cada. De posse desses dados observou-se que elas convergem com a média de FF que atingem SP, mostrada por MORAIS (2010) sendo conclusivo que as mesmas tem maior ocorrência nos períodos de março a maio e agosto a dezembro, portando tais intervalos mensais estão mais propensos à ocorrências de EECs relacionados a este sistema sinótico. Observa-se que nos meses de inverno a quantidade de eventos EECs é inferior as demais estações do ano, e que o único sistema sinótico que causou EEC nesta estação do ano foi a FF.

Já a ocorrência de eventos NS se dá nos meses de verão, outono e primavera. Os eventos NS estão relacionados à convecção local de umidade, ligados a condições de formação de ilhas de calor e devido ao longo alcance da brisa marítima, em ambos os casos é necessário que haja grande intensidade de calor. Dessa forma, excluindo a contribuição de sistemas NS nos EEC durante os meses de inverno, assim como mostra

o estudo realizado por XAVIER (1992), que constatou um déficit de precipitação durante esta estação do ano. Ressalta-se que a convecção local é um processo dinâmico intrinsecamente caótico, possui um intervalo de previsão limitado devido a natureza dos espalhamentos e ocorrências imprevisíveis das células convectivas.

Devido à ação de todos os processos de fluxo de calor que influenciam na ocorrência de EECs, a necessidade de temperaturas altas para que os mesmos ocorram é primordial. Através da figura 3.1 é possível perceber que 50% (11) dos casos de EECs ocorrem no verão (dezembro, janeiro e fevereiro) e que aproximadamente 4,5% (1) dos casos ocorrem nos meses de inverno (junho, julho e agosto).

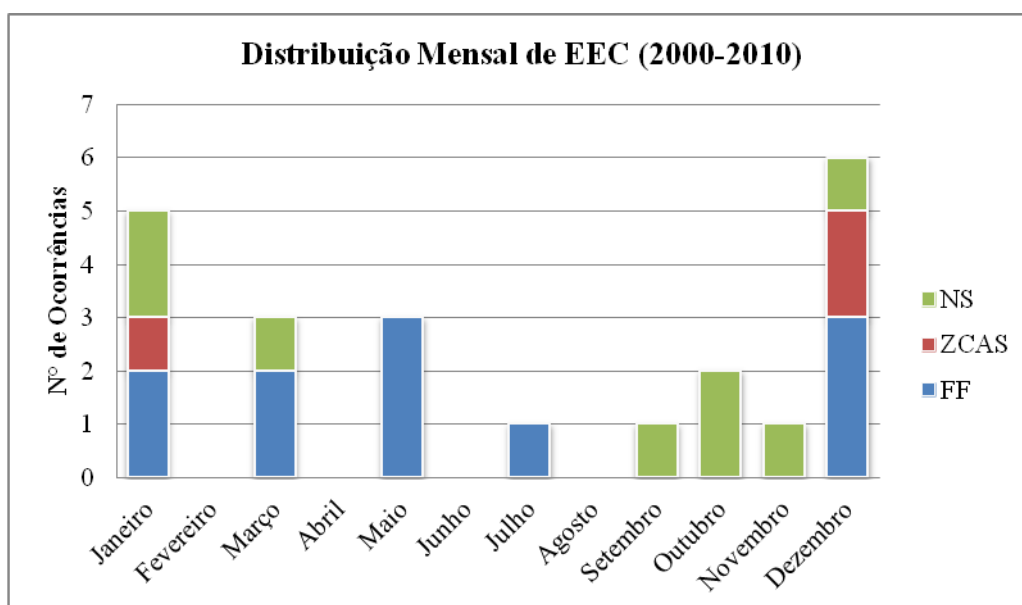


Figura 3.1 Frequência Mensal dos Eventos Extremos de Chuva (EECs) na cidade de São Paulo de 2000 a 2010, divididos por sistema sinótico associado: sistema Não-Sinótico (NS), Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e Frente Fria (FF).

Ao ser analisada a distribuição anual de EECs (figura 3.2) é possível observar que os anos de 2005 e 2006 são os que mais apresentam ocorrências desses eventos, num total de 4 eventos em cada ano. Dos 8 (oito) casos ocorridos nesses dois anos, 6 (seis) estavam relacionados a frentes frias e os outros 2 (dois) casos estavam relacionados a

eventos que não possuíam escala sinótica. Em seguida, o ano de 2009 apresenta 3 eventos sendo que, cada um deles foi ocasionado por um fator diferente 33,3% NS, 33,3% ZCAS e 33,3% FF. Já os anos de 2003 e 2004 não tiveram nenhum registro de EECs.

Em 6 (seis) dos 10 (dez) anos a FF causa EECs na mesma ou maior porcentagem que os demais fatores. Nos anos de 2001 e 2002 o fator responsável pelos eventos são eventos NS, com a atuação de dois em cada ano. Os EECs que foram causados pela ação da ZCAS ocorreram nos anos de 2007, 2009 e 2010 que foi responsável por um evento a cada ano.

A média anual de EECs é de 2,2, valor encontrando para os anos entre 2000 e 2010. A média anual de cada um dos três fatores para deflagrar grandes volumes pluviométricos é: média de 1,1 frentes frias, 0,3 ZCAS e 0,8 sistemas NS. É importante ressaltar que nenhuma dessas médias possui elevada significância e muito menos podem ser tomadas como médias climatológicas para a região em estudo, já que o período em análise é de somente 10 anos e qualquer pequena variação na quantidade de EECs provoca uma alteração expressiva nas médias.

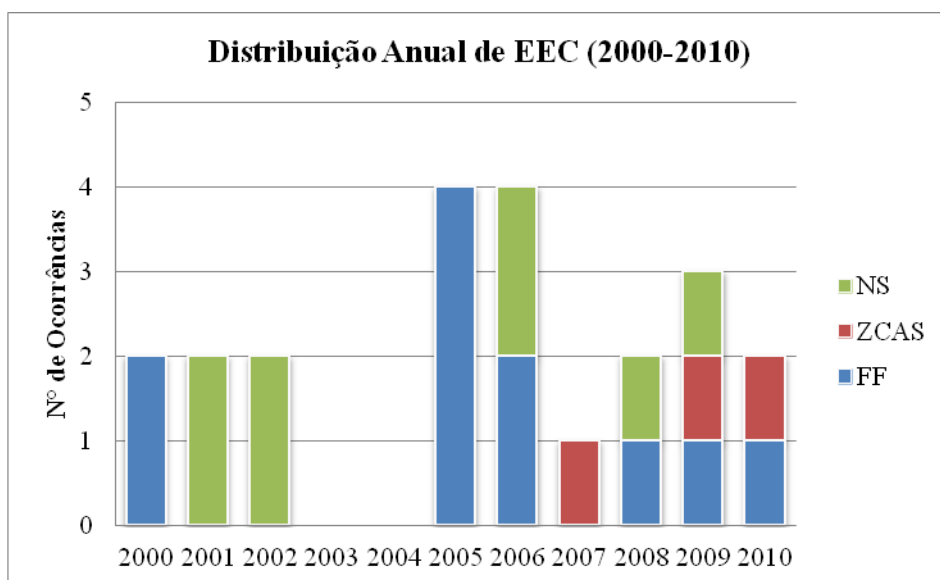


Figura 3.2 Frequência anual de Eventos Extremos de Chuva na cidade de São Paulo no período de 2000 a 2010, divididos por sistema sinótico: sistema Não-Sinótico (NS), Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e Frente Fria (FF).

A relação entre o número de pontos de alagamento pela cidade de São Paulo e a quantidade de chuva em mm é mostrada na figura 3.3. As medições do número de pontos de alagamento começam somente após o 5º evento. É possível perceber que em todos os EECs houve pontos de alagamento pela cidade. O menor número de pontos de alagamento ocorreu no 18º evento, foram 15 pontos num dia em que a precipitação foi de aproximadamente 50 mm. O maior número de pontos de alagamento ocorreu no 9º evento para uma precipitação de aproximadamente 51 mm. Vale notar que para valores bem similares de precipitação os pontos de alagamento variaram do mínimo ao máximo, isso ocorre, pois a quantidade de alagamentos não é totalmente dependente da quantidade de precipitação em si, mas sim da quantidade de precipitação em certo intervalo de tempo. Um grande volume de chuva em um curto período de tempo ocasiona mais pontos de alagamento do que o mesmo volume de chuva em um grande volume de tempo, pois o escoamento da água de um mesmo volume de água ocorre com mais facilidade para maiores intervalos.

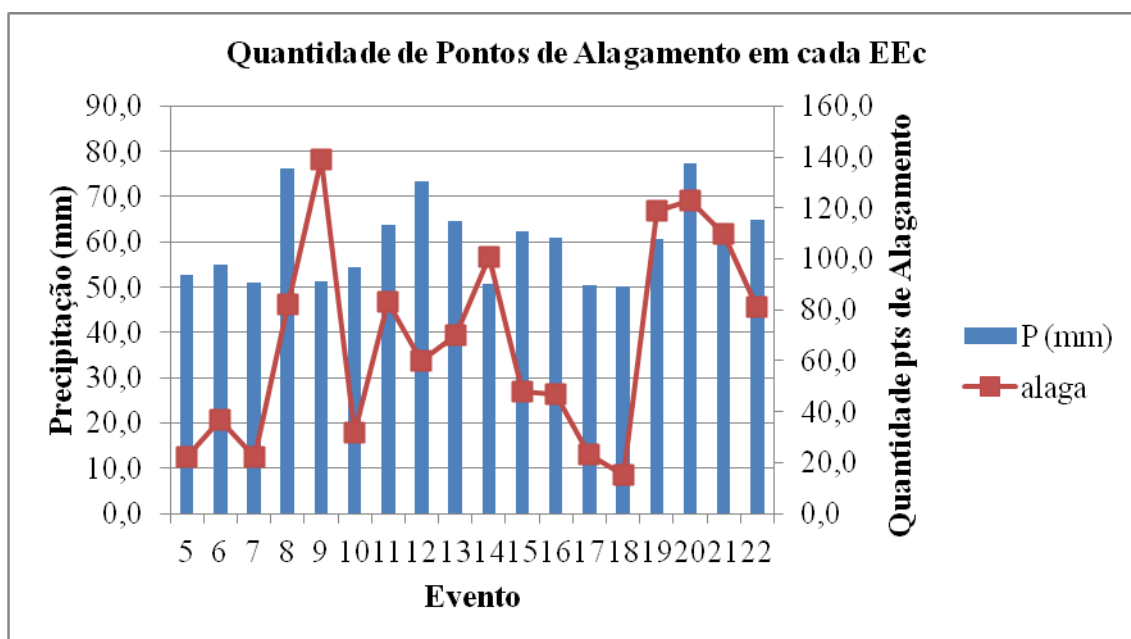


Figura 3.3 Quantidade de precipitação e ponto de alagamento a partir do quinto Evento Extremo de Chuva na cidade de São Paulo.

3.2. Variáveis Meteorológicas

As variáveis que apresentaram, em módulo, correlação maior do que 0,5 são mostradas na tabela 2. É possível observar que as variáveis que mais se destacam são: umidade relativa e umidade específica para alguns níveis atmosféricos.

A variável que apresentou maior valor de correlação diretamente proporcional com os EECs foi a água precipitável. Esta variável é dada pela massa de vapor de água total por unidade de área de uma coluna atmosférica integrada verticalmente (da superfície até o topo da atmosfera). A figura 3.4 (adaptada por Yamasaki, Y. (2006)) mostra a distribuição média da água precipitável no globo. O decréscimo da variável ocorre Equador para o polo, devido a diminuição de temperatura. Observa-se que sobre o sudeste do Brasil (região da cidade de São Paulo) o valor médio de água precipitável é de aproximadamente 24 mm. Por representar o limite superior da quantidade de precipitação que pode ocorrer na coluna atmosférica, é conclusivo que esta variável apresente alto valor de correlação com casos de precipitação extrema.

Em seguida as variáveis referentes à umidade específica e relativa entre os níveis de 500 hPa e 650 hPa apresentaram o segundo maior valor de correlação sendo de 0,7 e 0,69 respectivamente. Define-se umidade específica como a massa do vapor numa dada área em relação à massa total de ar da mesma área, expressa em g/Kg. Já a umidade relativa possui unidade adimensional e é descrita pela relação da quantidade de vapor no ar e a quantidade de vapor máximo que o ar suportaria à mesma temperatura.

Um aspecto importante relaciona o aumento da umidade relativa com a inserção de brisa marítima na cidade de SP (Borges, 2000). A brisa marítima ao interagir com ilhas de calor em SP geram convecção local e proporcionam ocorrências de EECs de escala NS.

No estudo realizado por Liu (1986) foi apresentada a relação entre a água precipitável mensal média e a umidade específica do ar e conclui-se que o fluxo de calor latente médio bruto poderia ser calculado substituindo a variável umidade específica pela água precipitável, mas isso somente pode ser empregado para análises climáticas e não para previsões do tempo. Dessa forma, por mais que as variáveis se relacionem, neste estudo elas apresentam valores de correlação bem diferentes.

A radiação de onda longa emergente foi a variável meteorológica que apresentou o maior valor inversamente proporcional de correlação. A radiação de onda longa emergente da superfície é absorvida pelo principal constituinte de uma nuvem: vapor d'água, portanto a nuvem impede que mais radiação “escape”. Sabe-se que os EECs, sendo de escala sinótica ou não, são marcados pela grande presença de nuvens na atmosfera e quanto maior é esse número, menor é o saldo de radiação de onda longa emergente.

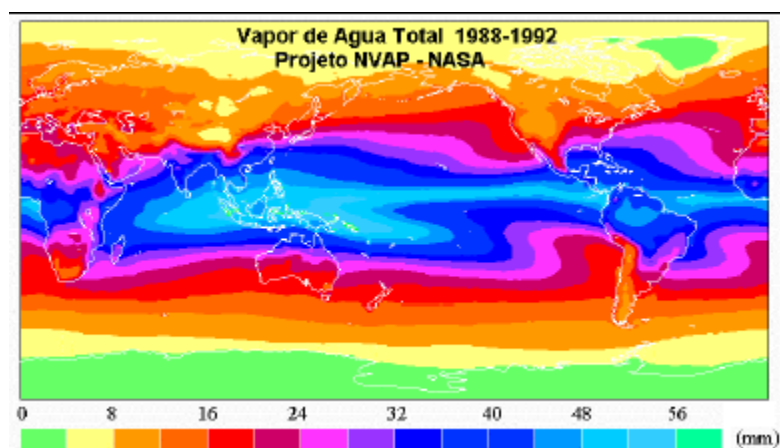


Figura 3.4 Média de água precipitável para a superfície terrestre (entre os anos de 1988 e 1992).
Fonte: Yamasaki, Y. (2006)

Tabela 2 – Variáveis do modelo ETA40 com correção em módulo maior do que 0,5 e significância estatística maior que 0,95 no teste T-Student.

Radiação de Onda Longa Emergente	-0,55
Vento Meridional em 800 hPa	-0,53
Vento Meridional em 750 hPa	-0,53
Vento Meridional em 550 hPa	-0,53
Vento Meridional em 600 hPa	-0,52
Vento Meridional em 500 hPa	-0,52
Vento Meridional em 650 hPa	-0,5
Precipitação	0,51
Umidade Específica em 850 hPa	0,51
Umidade Relativa em 350 hPa	0,52
Radiação de Onda Longa Incidente	0,53
Umidade Relativa em 750 hPa	0,54
Umidade Específica em 350 hPa	0,54
Temperatura Potencial em 800 hPa	0,55
Umidade Relativa em 400 hPa	0,57
Temperatura Potencial em 450 hPa	0,57
Umidade Específica em 800 hPa	0,59
Umidade Específica em 400 hPa	0,59
Temperatura Potencial em 750 hPa	0,6
Umidade Específica em 750 hPa	0,63
Temperatura Potencial em 700 hPa	0,63
Temperatura Potencial em 500 hPa	0,63
Umidade Relativa em 700 hPa	0,64
Temperatura Potencial em 650 hPa	0,64
Temperatura Potencial em 550 hPa	0,64
Umidade Relativa em 450 hPa	0,65
Umidade Específica em 700 hPa	0,66
Umidade Específica em 450 hPa	0,66
Temperatura Potencial em 600 hPa	0,67
Umidade Relativa no Nível de Congelamento	0,68
Umidade Relativa em 650 hPa	0,68
Umidade Relativa em 600 hPa	0,69
Umidade Relativa em 550 hPa	0,69
Umidade Relativa em 500 hPa	0,69
Umidade Específica em 650 hPa	0,69
Umidade Específica em 600 hPa	0,7
Umidade Específica em 550 hPa	0,7
Umidade Específica em 500 hPa	0,7
Água Precipitável	0,71

3.3. Análise das variáveis em alguns casos de EECs

É importante analisar a interação de algumas variáveis meteorológicas junto aos eventos extremos de precipitação bem como a evolução temporal da atmosfera nos quatro dias em análises. A seguir serão mostrados os resultados das PNTs do modelo ETA40 para três casos nos quais os eventos foram causados por condições atmosféricas diferentes (FF, ZCAS e NS).

3.3.1. Radiação de Onda Longa Emergente (ROLE)

O primeiro caso a ser analisado ocorreu no dia primeiro de outubro de 2001 (caso 3 na tabela 1). Neste caso a precipitação foi de 87,1 mm e o EEC realizou-se devido a um sistema não sinótico. O campo de radiação de onda longa emergente (ROLE) (figura 3.5) mostra que somente próximo a data e hora do evento ocorre uma queda brusca de radiação. Por se tratar de um evento não sinótico, o processo de convecção e formação de nuvens ocorreu somente próximo à data do evento, já que anteriormente a queda o valor de ROLE era quase constante em torno de 270 W/m^2 e durante o EEC esse valor cai para aproximadamente 210 W/m^2 .

No evento correspondente ao oitavo caso de EEC, a precipitação observada foi de 76,2 mm e a FF foi o sistema sinótico atuante na atmosfera. Similar ao caso 3, a ocorrência de uma frente fria condiciona a formação de nuvens somente em proximidade à data do evento.

Já no caso 21 a precipitação foi de 63,1 mm e a ocorrência do EEC se deu pela atuação da ZCAS. Verifica-se pelo terceiro gráfico que a variação da ROLE já era muito intensa mesmo a três dias anteriores ao evento. Isso ocorre, pois esse tipo de sistema possui uma maior escala temporal, conduzindo a presença de nuvens por mais dias.

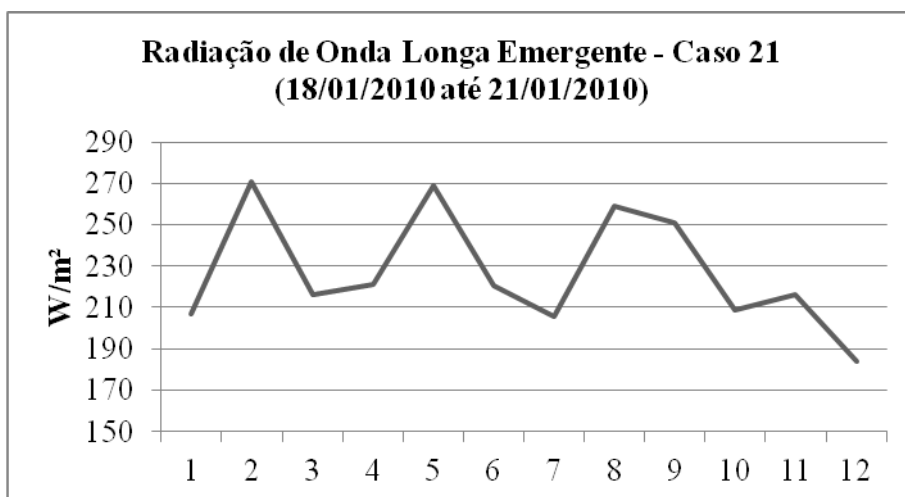
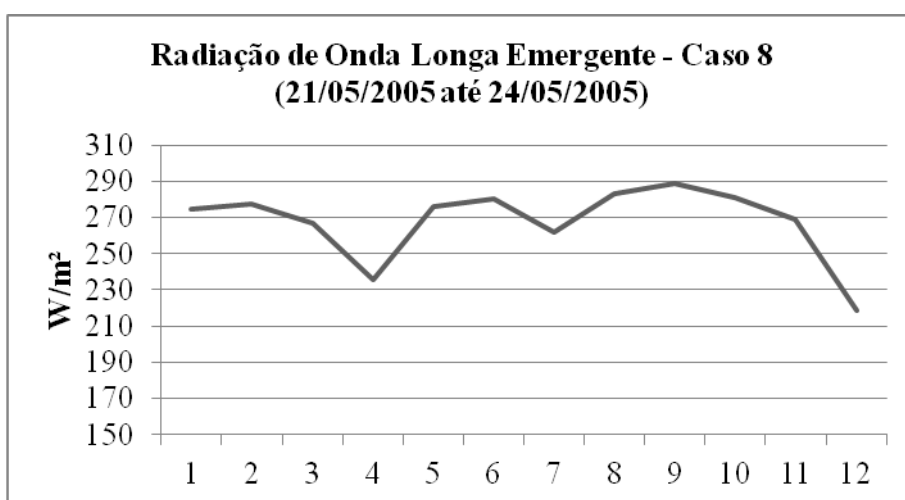
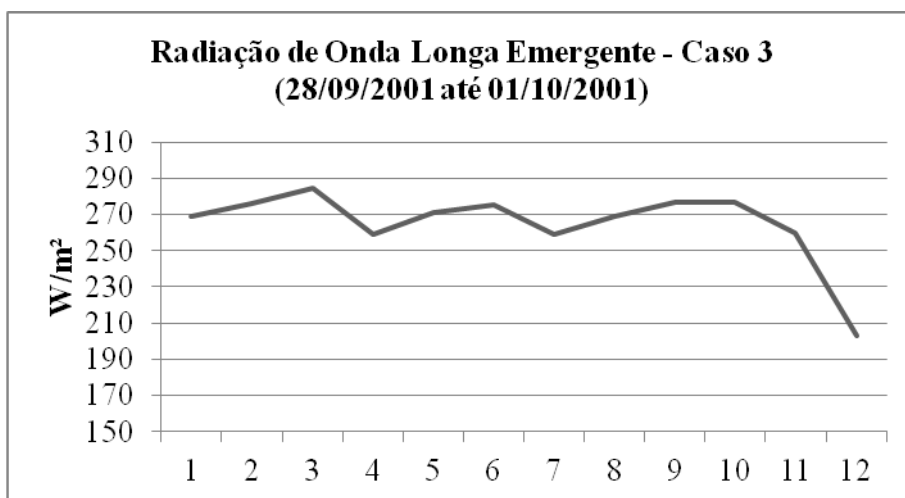


Figura 3.5 Evolução temporal da Radiação de Onda Longa Emergente para três casos de EEC. O eixo horizontal representa os três horários modelados para os quatro dias em análise.

3.3.2. Umidade Específica e Umidade Relativa

Para a condição de formação de um EEC é necessário que haja umidade disponível na atmosfera. Como esperado, é possível observar pela figura 3.6 que a umidade específica em diferentes níveis atmosféricos é elevada durante o EEC.

Ao analisar a variação da umidade específica para diferentes níveis atmosféricos (de 500 hPa até 650 hPa), fica claro que quanto maior é o nível atmosférico, maior é o valor da variável. Já que a variação de umidade é proporcional à temperatura, quando se trata de altitude. Quanto menor é a temperatura, maior a altitude (menor é o nível), com isso o ar é mais rarefeito e a umidade diminui.

Para o caso 3 (primeiro gráfico da figura 3.6), por se tratar de um evento NS há um aumento gradativo da umidade até a ocorrência do evento. Neste caso a umidade está ligada à precipitação da seguinte forma: há um grande fluxo de calor em direção à superfície, o vapor tende a subir para níveis mais altos da atmosfera, que são mais frios fazendo com que haja condensação do mesmo e ocorra a precipitação.

Durante a passagem de uma frente fria, como ocorre no caso 8 (segundo gráfico da figura 3.6), ocorre uma ascensão das parcelas de ar até níveis mais altos, pois o ar polar presente na frente fria é mais denso e avança sob as camadas de ar presentes no local. Assim sendo, ao atingir níveis mais altos o vapor condensa ocorrendo a precipitação.

O terceiro gráfico da figura 3.6 mostra a variação da umidade específica em um evento de ZCAS (caso 21). Em oposição aos casos anteriores, a presença da ZCAS configura um canal de umidade que perdura por alguns dias na atmosfera. Isso faz com que os valores da umidade específica se mantenham praticamente constantes durante a variação temporal do evento, com um pequeno aumento próximo ao evento.

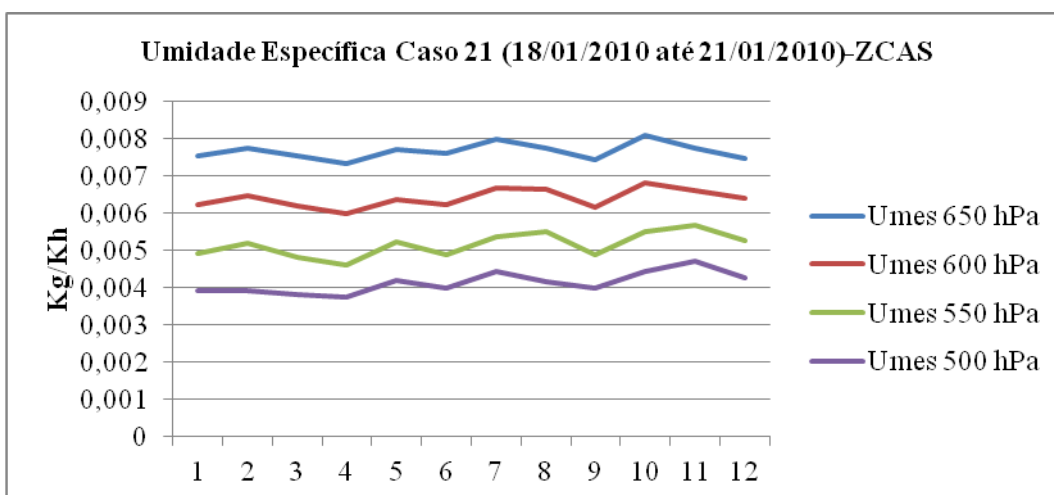
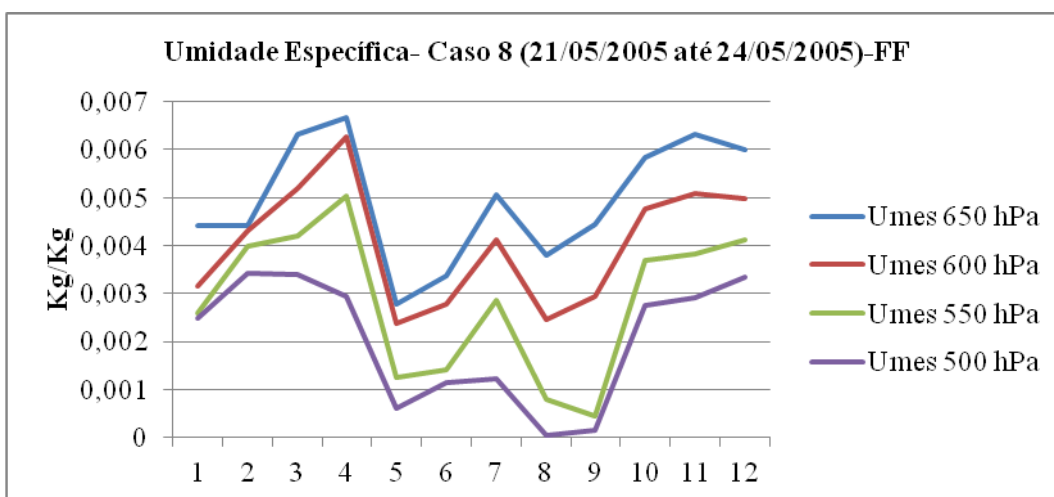
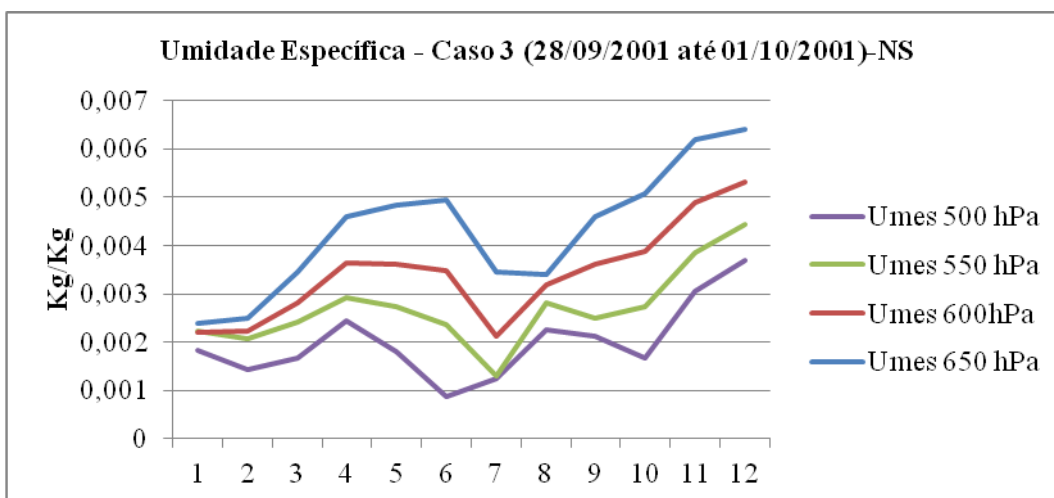


Figura 3.6 Evolução temporal da Umidade Específica (umes) em diferentes níveis, para três casos de EEC. O eixo horizontal representa os três horários modelados para os quatro dias em análise.

4 CONCLUSÃO

A análise de 22 eventos extremos de chuva na cidade de São Paulo mostrou que os principais sistemas atmosféricos, de larga escala, responsáveis por grandes volumes de precipitação na cidade são as Frentes Frias (FF) e a atuação da Zona de Convergência do Atlântico Sul. Ambos os sistemas variam sazonalmente, sendo que ocorrem em maior frequência em meses de verão e em menor frequência nos meses de inverno. O único sistema atmosférico atuante durante os meses de inverno que causou EECs foi a FF. Outro fator responsável pelos EECs não possui escala sinótica. Nesses casos o grande volume de chuva ocorre devido à forte convecção local que podem se intensificar devido a influências de ilhas de calor que se formam sobre a cidade e a inserção de brisas marítimas vindas da costa sudeste do país. Como os eventos não sinóticos também dependem de altas temperaturas e grandes fluxos de calor para se desenvolverem, estes ocorrem em maior frequência nos meses mais quentes. Os meses de verão concentram 50% dos casos de EECs, enquanto os meses de inverno estão associados a somente 4,5% dos casos.

A fim de serem comparados os dados observados de chuva e os dados modelados pelo modelo atmosférico ETA40, para os casos onde houve um EEC, através de uma análise correlativa foi possível observar que as principais variáveis meteorológicas associadas aos eventos foram: água precipitável, umidade relativa entre os níveis de 500h Pa e 650 hPa e umidade específica entre os níveis de 500 hPa e 650 hPa. Essas variáveis atuam de forma diretamente proporcionais ao aumento de precipitação. A variável que apresentou maior correlação inversamente proporcional ao grande volume pluviométrico foi a radiação de onda longa emergente.

A importância de se correlacionar variáveis meteorológicas em eventos extremos de chuva está na possibilidade da prevenção das consequências de desastres naturais que prejudicam a população de forma direta e indireta, principalmente em um polo social e econômico como a cidade de São Paulo. Há a possibilidade de continuar este estudo aplicando o MeDPAt-EEC de DOLIF NETO (2013) afim de estudar e testar os padrões atmosféricos para previsões futuras.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Borges, A. S. e A. J. Pereira Filho, 2000: Análise das condições meteorológicas de superfície antecedentes à precipitação de origem convectiva na Cidade de São Paulo. XI Congresso Brasileiro de Meteorologia, SBMET, Rio de Janeiro, RJ, Outubro de 2000. II Seminário de Brasileiro de Hidrologia.

Celso Macedo Junior; Priscila Pereira Coltri; Sergio Caldas Soares. Artigos Especiais do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos de 10 de Julho de 2008. Disponível em: <<http://www7.cptec.inpe.br/noticias/noticia/8995>>. Acesso em: 28 out. 2013

Centro de Gerenciamento de Emergências. Disponível em: <<http://www.cgesp.org/v3/quem-somos.jsp>>. Acesso em: 28 out. 2013

DOLIF NETO, G.; NOBRE, C.A. Previsão de extremos de chuva no rio de janeiro: melhorias utilizando o conhecimento adquirido com eventos anteriores. 2012. 160 p. Tese (Doutorado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. S?o Jos? Dos Campos.

Estações pluviométricas da CGESP. Disponível em: <<http://www.cgesp.org/v3/>>. Acesso em: 09 jun. 2014

Greenwald, T., Stephens, G., VonderHaar, T., and Jackson, D. (1993). A physical retrieval of cloud liquid water over the global oceans using special sensor microwave/imager (ssm/i) observations. *J. Geophys. Res.*, (98):18471–18488. adaptado por Yamasaki, Y. (2006). Sistemática das estimativas da água precipitável e modelos de mesoescala.

Haddad, E. A. and Teixeira, E. (2013). “Economic Impacts of Natural Disasters in Megacities: The Case of Floods in São Paulo, Brazil”

IBGE (2010). Dados do Censo 2010. Disponível em <http://www.censo2010.ibge.gov.br/>. Acesso em: 20 out 2013.

LIMA, K. C.; SATYAMURTI, P. Large-scale atmospheric conditions associated with heavy rainfall episodes in southeast brazil. *Theoretical Applied Climatology*, v. 101, p. 121{135, 2010.

Liu, W. T. (1986). Statistical relation between monthly precipitable water and surface-level humidity over global oceans. *Mon. Wea. Rev.*, (114):1591–1602.

MARCELINO, E. V. Desastres naturais e geotecnologias: conceitos básicos. Santa Maria, RS, Brasil: Inst. Nac. de Pesquisas Espaciais(INPE) e Minist. da Ciência e Tecnologia(MCT), 2008. 38 p. 1, 2, 3

MINUZZI, R. B. ; Sediyama, G.C. ; Barbosa, E. da M. ; Melo Júnior, J.C.F.de . Climatologia do comportamento do período chuvoso da região Sudeste do Brasil. Revista Brasileira de Meteorologia (Impresso), v. 22, p. 338-346, 2007.

MORAIS, M. A. ; CHIBA, W. A. C. ; Tundisi, J. G. . Climatologia de frentes frias sobre a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), e sua influência na limnologia dos reservatórios de abastecimento de água.. Revista Brasileira de Meteorologia (Impresso), v. 25, p. 205-217, 2010.

LIVEIRA, N. (2011). Análise da evolução de eventos extremos de precipitação diária na cidade de São Paulo. Disponível em: <http://sic2011.com/sic/arq/74193820564147419382056.pdf>. Acesso em: 20 out 2013.

PEREIRA FILHO, A. J. Chuvas de Verão e as Enchentes na Grande São Paulo: El Niño, Brisa Marítima e Ilha de Calor. XI Congresso Brasileiro de Meteorologia, Anais, p. 1391-1398, Rio de Janeiro, RJ, Outubro, 2000.

PEREIRA FILHO, A. J. . Chuvas de verão e as enchentes na Grande São Paulo: El Niño, brisa marítima e ilha de calor. In: II Seminário Brasileiro de Hidrometeorologia, 2000, Rio de Janeiro. XI Congresso Brasileiro de Meteorologia. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2000.

Pereira Filho, A. J., Braga Júnior, B. P. F., Barros M. T. L. e Carrera, C V. M. - Previsão de inundações: radar meteorológico resolve? In: SIMP. BRAS. de RECURSOS HÍDRICOS, IX, Rio de Janeiro, RJ., 1991 -Anais. Rio de Janeiro, 1986. v. 3, p 1-11.

Silva Dias, M. A. F. – Storms in Brazil. Hazards and Disasters, 1997. Chpt. 43, Rutledge Press.

Sistema de Alerta a Inundações de São Paulo. Disponível em: <<http://www.saisp.br/estaticos/sitenovo/quemsomos.xmlt>>. Acesso em: 28 out. 2013

Soares, J.R. e Silva Dias, M.A.F., 1986, Probabilidade de ocorrência de alguns eventos meteorológicos extremos na cidade de São Paulo. Rev. Bras. Meteorologia, 1.67-75.

TARIFA, J. R. ; ARMANI, G. . As Unidades Climáticas Urbanas da Cidade de São Paulo. In: José Roberto Tarifa. (Org.). Atlas Ambiental do Município de São Paulo. São Paulo: , 2000, v. CD-Rom, p. -.

XAVIER, T. de Ma. B.S., OLIVEIRA, S., SILVA DIAS, M.A.F. & XAVIER, A.F.S. (1992), Tendências da Pluviometria na Grande São Paulo e a Influência dos Processos de Urbanização e Industrialização. Anais do VII Congresso Brasileiro de Meteorologia, São Paulo-SP, V. 1, pp. 220-224.

