

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**PLUVIOMETRIA PARA A REGIÃO CENTRAL DO ESTADO DE SÃO
PAULO UTILIZANDO ECOS DE RADAR METEOROLÓGICO.**

JOSÉ CARLOS FIGUEIREDO

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da UNESP - Campus de
Botucatu, para obtenção do título de Doutor em
Agronomia - Área de Concentração em Energia
na Agricultura.

BOTUCATU-SP
Dezembro -2005

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**PLUVIOMETRIA PARA A REGIÃO CENTRAL DO ESTADO DE SÃO
PAULO UTILIZANDO ECOS DE RADAR METEOROLÓGICO.**

JOSÉ CARLOS FIGUEIREDO

Orientador: Prof. Dr. Dinival Martins

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP - Campus de Botucatu, para obtenção do título de Doutor em Agronomia - Área de Concentração em Energia na Agricultura.

BOTUCATU-SP
Dezembro -2005

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

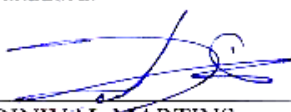
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "PLUVIOVETRIA PARA A REGIÃO CENTRAL DO ESTADO DE SÃO PAULO UTILIZANDO ECOS DE RADAR METEOROLÓGICO "

ALUNO: JOSÉ CARLOS FIGUEIREDO

ORIENTADOR: PROF. DR. DINIVAL MARTINS

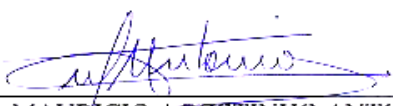
Aprovado pela Comissão Examinadora:



PROF. DR. DINIVAL MARTINS



PROF. DR. ROBERTO VICENTE CALHEIROS



PROF. DR. MAURICIO AGOSTINHO ANTONIO



PROF. DR. PAULO CESAR SENTELHAS



DR. VALDO DA SILVA MÁRQUES

Data da Realização: 02 de dezembro de 2005.

OFERECIMENTO

A minha esposa Rosa Márcia, aos meus filhos Daniel e Vítor. Por entenderem a minha ausência do lar, quando da finalização deste trabalho.

Mas se ergues da justiça a clava forte,
Verás que um filho teu não foge à luta...

Joaquim Osório Duque Estrada

AGRADECIMENTOS

Neste longo caminho, para elaboração deste trabalho, vários são os agradecimentos acumulados, onde a justiça seria plena na lembrança da co-autoria, a todos que deram a sua parcela para a confecção do trabalho mais importante da minha vida. Após os cinqüenta, a memória fabrica lapsos, que a eles deverão ser creditados os esquecimentos, dentre esses os agradecimentos, ao que peço perdão aos que não foram lembrados.

Seria a lembrança mais justa o uso da expressão “et al.” para:

Dr. Shigetoshi Sugahara, sem a ajuda inicial de programação e processamento de dados, este trabalho não teria sido desta maneira; Dr. José Sclar, sugestões e aulas de Fortran; Hermes Augusto de Godoy França, pelos 129.117,00 CAPPIs gravados em CDs; Adelmo Antonio Correia, pela ajuda nos “.gs”; Paulo Sérgio Borges, ajudas em Fortran; Jaqueline Murakami, Carlos Alberto de A. Antonio, Tadashi Makida e Vanderlei Galhardi, socorros em informática; Professora Denise Martins Pereira pela importante correção do texto; Roberto Machado; permissão sem restrição de uso do seu PC; Fábio Antero Pulpo de Melo, concomitantemente trabalhando e processando dados durante as madrugadas; Maith Martins de Oliveira, ajuda competente nas referências bibliográficas; Antonio Ribeiro da Cunha, gravação dos dados de chuva a cada 5 minutos da estação de Botucatu; Cássio Kleber Correia da Silva, companheiro das noites no Instituto; José Bezerra pela execução de várias tarefas; aos colegas meteorologistas e todos os funcionários e pesquisadores do Ipmet, que de uma maneira direta ou indireta colaboraram com esta pesquisa.

Agradecimento especial as coordenadorias de operação e pesquisa e a direção do Instituto de Pesquisas Meteorológicas, por acreditarem no projeto de pesquisa, pelo apoio material, computacional, compreensão e pronta consideração dos afastamentos, sem eles, este trabalho não poderia ser feito.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS	IX
LISTA DE TABELAS	XIII
RESUMO	XIV
SUMMARY	XV
1. Introdução.....	16
2. Revisão de Literatura.....	20
2.1 A Tecnologia e o Radar Meteorológico.....	20
2.2 - O Radar Meteorológico	21
2.2.1 Tipos de radares – Características principais	22
2.2.2 O radar meteorológico de Bauru/SP	27
2.3 - Erros na medição	29
2.3.1 - Ecos sem precipitação.....	29
2.3.2 - Ecos de terrenos.....	29
2.3.3 - Efeito da curvatura da Terra	30
2.3.5 - Erros devido ao ambiente atmosférico	31
2.3.6 - A contaminação do lóbulo lateral da antena.....	31
2.4 Produtos do radar	32
2.4.1 CAPPI	32
2.4.2 PPI.....	34
2.4.3 Air Clear (tarefa Ar Claro).....	34
2.4.4 Topos de ecos.....	35
2.4.5 VIL (Integração Vertical do Conteúdo de Água Líquida)	35
2.5 - Radar X Pluviômetros	36
2.5.1 Tipos de precipitação pluviométrica	38
2.6 A Relação Z-R	40
2.7 Climatologia com radar	44
2.7.1 A climatologia de eco e a Agricultura de Precisão	45

3. Material e Métodos.....	48
3.1 Origem dos dados - Domínio da pesquisa	48
3.1.2 Altitude da região central do Estado de São Paulo	49
3.1.3 Base de dados do radar.....	51
3.2 Critérios para processamento dos dados.....	52
3.2.1 Os Arquivos CAPPIS	52
3.2.2 Escolha da relação Z-R	52
3.3 Validação resultados	54
3.3.1 Acurácia dos dados	54
3.4 Chuva acumulada Global.....	55
3.4.1 Acumulação da Refletividade Z.....	55
3.4.2 Acumulação da Precipitação	55
3.4.1 Recorde Global de dBZ.....	57
4.0 Resultados e Discussões	58
4.1 Diagnóstico dos de ecos de radar na região central do Estado de São Paulo	58
4.1.1 Ciclo diurno da precipitação	58
4.1.3 Número de dias chuvosos	61
4.2 Cálculo dos erros – Escolha da relação Z-R	63
4.4 Aspectos dos ecos de radar para a cidade de Botucatu.....	64
4.4.1 A evolução dos ecos de radar, durante o período de 1994-2004 para a cidade de Botucatu	65
4.4 Mapeamento das Tempestades na região central do Estado de São Paulo.....	80
4.4.1 Ecos máximos para o período chuvoso.....	86
4.4.2 Considerações para a cidade de Campinas	87
4.4.3 Distribuição das frequências das tempestades para a cidade de Campinas	89
4.4.4 Distribuição das frequências das tempestades para as cidades de Mirassol e Piracicaba	90
4.5. A Distribuição da chuva acumulada	93
4.5.1 Média acumulada de chuva para o mês de novembro.....	93
4.5.3 Média acumulada de chuva para o mês de dezembro	95
4.5.4 Média acumulada de chuva para o mês de janeiro.....	96

4.5.5 Média acumulada de chuva para o mês de fevereiro	97
4.5.6 Média acumulada de chuva para o mês de março.....	98
4.6 Anomalia de chuva	100
5. CONCLUSÕES	102
6. REFERÊNCIAS	105
APÊNDICE 1	112
APÊNDICE 2	115
APÊNDICE 3	119
APÊNDICE 4	123
APÊNDICE 5	140
APÊNDICE 6	142

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1 – Espectro da radiação eletromagnética, em destaque o intervalo de comprimento de onda dos radares.	24
Figura 2. Movimento programado da antena para coleta de dados de radar.	26
Figura 3 - Mapa do Estado de São Paulo, com destaque para as principais cidades, rios, raios de alcance do radar meteorológico (240 km e 420) e a localização da cidade de Bauru.	28
Figura 4 – Gráfico mostrando o efeito da curvatura da Terra assumindo a refração padrão. A linha vertical em destaque representa a distância do raio usada nesta pesquisa.....	30
Figura 5 - Contaminação devido ao lóbulo lateral da antena.	32
Figura 6 – Representação do produto CAPPI, onde a linha em destaque (vermelha) representa o CAPPI médio das elevações (0 e 5°).	33
Figura 7 – Mapa de produtividade de uma cultura.	46
Figura 8 – Domínio da pesquisa (formato original), matriz de 480x480 pontos, onde cada ponto representa 1km ² (pixel), em destaque o centro da matriz correspondendo à localização do radar meteorológico e a disposição da vizinhança de um ponto.	49
Figura 9 – Unidades geomorfológicas do Estado de São Paulo, caracterizadas pela altitude acima do nível médio do mar.	50
Figura 10 – Intervalo de tempo para o cálculo da chuva acumulada horária. A hora inicial é representada por HH e HH+1 a hora final. Os minutos possíveis dentro da hora (t1, t1...t8) e Ra, Rb...Rh, as taxas de precipitação, para cada intervalo de tempo, segundo a relação Z-R. .	56
Figura 11 – Variação horária de Z em um raio de 240 km em torno de Bauru/SP, para os meses mais chuvosos (a) e a porcentagem acumulada de Z, nos períodos madrugada, manhã, tarde e noite (b).....	60
Figura 12 – Variação horária dos dBZ Recordes, em um raio de 240 km em torno de Bauru/SP.....	60
Figura 13 – Frequência de ecos (%) entre 15-20 dBZ para a cidade de Botucatu durante o período de 1994-2004, nos meses chuvosos: a) novembro, b) dezembro, c) janeiro, d) fevereiro, e) março.....	67

Figura 14 – Frequência de ecos (%) entre 21-25 dBZ para a cidade de Botucatu durante o período de 1994-2004, nos meses chuvosos: a) novembro, b) dezembro, c) janeiro, d) fevereiro, e) março.....	69
Figura 15 – Frequência de ecos (%) entre 26-30 dBZ para a cidade de Botucatu durante o período de 1994-2004, nos meses chuvosos: a) novembro, b) dezembro, c) janeiro, d) fevereiro, e) março.....	71
Figura 16 – Frequência de ecos (%) entre 31-35 dBZ para a cidade de Botucatu durante o período de 1994-2004, nos meses chuvosos: a) novembro, b) dezembro, c) janeiro, d) fevereiro, e) março.....	73
Figura 17 – Frequência de ecos (%) entre 36-40 dBZ para a cidade de Botucatu durante o período de 1994-2004, nos meses chuvosos: a) novembro, b) dezembro, c) janeiro, d) fevereiro, e) março.....	75
Figura 18 – Frequência de ecos (%) entre 41-45 dBZ para a cidade de Botucatu durante o período de 1994-2004, nos meses chuvosos: a) novembro, b) dezembro, c) janeiro, d) fevereiro, e) março.....	77
Figura 19 – Frequência de ecos (%) entre 46-50 dBZ para a cidade de Botucatu durante o período de 1994-2004, nos meses chuvosos: a) janeiro, b) fevereiro e c) março.....	79
Figura 20 – Número de ocorrências de ecos dBZ ≥ 45 , no mês de novembro, no período de 1994-2004, em um raio de 240 km em torno de Bauru/SP.	81
Figura 21 – Número de ocorrências de ecos dBZ ≥ 45 , no mês de dezembro, no período de 1994-2004, em um raio de 240 km em torno de Bauru/SP.	82
Figura 22 – Número de ocorrências de ecos dBZ ≥ 45 , no mês de janeiro, no período de 1994-2004, em um raio de 240 km em torno de Bauru/SP.....	83
Figura 23 – Número de ocorrências de ecos dBZ ≥ 45 , no mês de fevereiro, no período de 1994-2004, em um raio de 240 km em torno de Bauru/SP.....	84
Figura 24 – Número de ocorrências de ecos dBZ ≥ 45 , no mês de março, no período de 1994-2004, em um raio de 240 km em torno de Bauru/SP.....	85
Figura 25 – Frequência de ecos ≥ 45 dBZ, do período chuvoso (novembro-março) de 1994-2004, em um raio de 240 km em torno de Bauru/SP.....	87
Figura 26 – Frequência de ecos ≥ 45 dBZ, no período chuvoso (novembro-março) de 1994-2004, na região de Campinas/SP (C).....	89

Figura 27 – Frequência de ecos ≥ 45 dBZ, para a região de Mirassol, do período chuvoso (novembro-março) de 1994-2004.....	91
Figura 28 – Frequência de ecos ≥ 45 dBZ, para a região de Piracicaba, do período chuvoso (novembro-março) de 1994-2004.....	92
Figura 29 – Chuva acumulada média (mm), obtida pela relação Marshall-Palmer, em um raio de 240 km em torno de Bauru/SP para novembro de 1994-2003.....	94
Figura 30 – Chuva acumulada média (mm), obtida pela relação Marshall-Palmer, em um raio de 240 km em torno de Bauru/SP para dezembro de 1994-2003.	96
Figura 31 – Chuva acumulada média (mm), obtida pela relação Marshall-Palmer, em um raio de 240 km em torno de Bauru/SP para janeiro de 1994-2003.....	97
Figura 32 – Chuva acumulada média (mm), obtida pela relação Marshall-Palmer, em um raio de 240 km em torno de Bauru/SP para fevereiro de 1994-2003.	98
Figura 33 – Distribuição da chuva acumulada (relação Marshall/Palmer) média (mm) em um raio de 240 km em torno de Bauru/SP para março de 1994-2003.....	99
Figura 34 – Anomalia de chuva (mm) nos meses de novembro (a), dezembro (b), janeiro (c), fevereiro (d) e março (e) de 2004.	122
Figura 35 – Frequência (%) de ecos entre 15-20 dBZ para a cidade de Campinas, durante o período de 1994-2004, nos meses chuvosos: (a) novembro, (b) dezembro, (c) janeiro, (d) fevereiro e (e)março.....	125
Figura 36 – Frequência (%) de ecos entre 21-25 dBZ para a cidade de Campinas, durante o período de 1994-2004, nos meses chuvosos: (a) novembro, (b) dezembro, (c) janeiro, (d) fevereiro e (e)março.....	127
Figura 37 – Frequência (%) de ecos entre 26-30 dBZ para a cidade de Campinas, durante o período de 1994-2004, nos meses chuvosos: (a) novembro, (b) dezembro, (c) janeiro, (d) fevereiro e (e)março.....	129
Figura 38 – Frequência (%) de ecos entre 31-35 dBZ para a cidade de Campinas, durante o período de 1994-2004, nos meses chuvosos: (a) novembro, (b) dezembro, (c) janeiro, (d) fevereiro e (e)março.....	131
Figura 39 – Frequência (%) de ecos entre 36-40 dBZ para a cidade de Campinas, durante o período de 1994-2004, nos meses chuvosos: (a) novembro, (b) dezembro, (c) janeiro, (d) fevereiro e (e)março.....	133

Figura 40 – Frequência (%) de ecos entre 41-45 dBZ para a cidade de Campinas, durante o período de 1994-2004, nos meses chuvosos: (a) novembro, (b) dezembro, (c) janeiro, (d) fevereiro e (e)março..... 135

Figura 41 – Frequência (%) de ecos entre 46-50 dBZ para a cidade de Campinas, durante o período de 1994-2004, nos meses chuvosos: (a) novembro, (b) dezembro, (c) janeiro, (d) fevereiro e (e)março..... 137

Figura 42 – Frequência (%) de ecos >50 dBZ para a cidade de Campinas, durante o período de 1994-2004, nos meses chuvosos: (a) novembro, (b) dezembro, (c) janeiro, (d) fevereiro e (e)março..... 139

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Categorias de intensidade de precipitação quantitativa e qualitativa estimada por radar.....	42
Tabela 2 - Coeficientes A e b da relação $Z = AR^b$, com a correção da distância.	43
Tabela 3 – Valores das constantes das relações Z-R.....	54
Tabela 4 – Frequência dos valores máximos de dBZ, para todos os CAPPI, nos meses chuvosos para um raio de 240 km em torno de Bauru/SP (2004-1994).....	61
Tabela 5 – Total médio do número de dias com chuva (NDC), percentual de NDC e número de CAPPIs (NC), utilizados em todos os meses chuvosos de 2004-1994.....	62
Tabela 6 – Valores dos Erros Quadráticos Médios (EQM) e Erro Relativo Médio (ERM) calculados das relações Z-R. Janeiro de 1998-2004 - (Exceto 1999).....	63
Tabela 7 – Chuva mensal acumulada estimada pelo radar e medida por pluviômetro de Janeiro de 1998-2004 (Exceto 1999), em Botucatu/SP	64
Tabela 8 – Distribuição da frequência de ecos durante os meses do período chuvoso (novembro-março) de 1994 - 2004, na cidade de Botucatu (recorde 52 dBZ).....	65
Tabela 9 – Distribuição da frequência de ecos durante os meses do período chuvoso (novembro-março), na cidade de Campinas de 1994 a 2004 (recorde 63 dBZ).....	90
Tabela 10 – Recordes horário de dBZ nos meses chuvosos: novembro, dezembro e Janeiro, na região Central do Estado de São Paulo. Período: 1994-2004.....	113
Tabela 11 – Recordes horário de dBZ nos meses chuvosos: fevereiro e março, na região Central do Estado de São Paulo, Período: 1994-2004,.....	114
Tabela 12 – Siglas e coordenadas das localidades utilizadas.	116
Tabela 13 – Total médio mensal de chuva de cidades situadas na região central do Estado de São Paulo.....	143

RESUMO

Este trabalho apresenta a pluviometria utilizando ecos de radar meteorológico para a região central do Estado de São Paulo, baseada em informações dentro de um raio de 240 km a partir, da cidade de Bauru, SP. O radar utilizado nesta pesquisa é do tipo Doppler banda S operando, continuamente, com informações entre 7,5 e 15 minutos, com resolução da ordem de alguns km^2 , ou variando a cada 1 km^2 , quando ocorrem chuvas dentro do raio de 240 km. Como a maioria da chuva que precipita na região é de natureza convectiva, foram escolhidos os meses do período chuvoso: novembro, dezembro, janeiro, fevereiro e março de 1994 à 2004, para a realização deste estudo. Em média 65% das chuvas anuais, na região central do Estado de São Paulo, ocorre nesses meses.

Inicialmente os dados foram consistidos e depois processados com resolução de 1 km^2 (não-independente), em uma matriz de 480×480 pontos para cada 7,5 minutos. Campos médios mostraram a variação diurna da chuva e a distribuição e a porcentagem de ocorrências nos períodos da manhã, da tarde, da noite e da madrugada, constatou-se um ligeiro equilíbrio percentual entre os períodos uma vez que, no ciclo diurno ocorrem 49% de todas as chuvas que precipitam sobre a região central do Estado de São Paulo.

As áreas com a maior densidade de ecos, acima de 45 dBZ foi detectada na maior área metropolitana existente dentro do raio de 240 km, correspondendo a cidade de Campinas, durante o período chuvoso. As cidades de Campinas, Mirassol e Piracicaba são as que apresentam as ocorrências dos ecos com intensidades $\geq 45 \text{ dBZ}$ associados a tempestades, sendo a cidade de Campinas, a que apresentou maior incidência de ecos de toda a matriz durante todo o período chuvoso. A região sul do Estado aparece como a região de menor ocorrência de chuvas do tipo convectiva.

RAIN MEASUREMENT IN THE CENTRAL REGION OF THE STATE OF SÃO PAULO USING WEATHER RADAR ECHOES.

Botucatu, 2005. 143 p. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: JOSÉ CARLOS FIGUEIREDO

Adviser: DINIVAL MARTINS

SUMMARY

This work presents a rain measurement derived from echoes detected in the central area of state of São Paulo to a range of 240 km by a weather radar located at Bauru. The radar is an S band Doppler system in continuous operation generating maps based on the observed echoes, each 7.5 and 15 minutes interval at a nominal resolution of 1 km². Since most of rain falling in the area is of a convective nature, the research was concentrated on the wet period, i.e. from November-to-march, of the years 1994-to-2004. The wet period rainfall represents 65% of the annual precipitation. Firstly consisted data for each 7.5 minutes interval was processed with a nominal resolution of 1 km² thus yielding a matrix of 480x480 pixels. Average rainfall fields were generated which show the daily cycle and variation, the areal rain distribution and the relative number of precipitation occurrences for the morning, afternoon, night and dawn daily periods. Regarding the relative distribution of occurrences for the whole day, a balance is evidentiated when comparing the diurnal and nocturnal periods: the former registers 49% of the number of occurrences while for the latter that figure is 51%. Areas with echo cores maximal exceeding a reflectivity value of 45 dBZ were concentrated over large metropolitan areas within the 240 km radar range, for the whole wet period. The southern area of the state is characterized by the lowest occurrence of convective rain when compared to all other areas in the state.

Keywords: weather radar, radar echoes, CAPPI.

1. Introdução

O fenômeno da precipitação apresenta uma grande variabilidade, quer no espaço, quer no tempo. Por esta razão, torna-se difícil medir com precisão a quantidade de chuva que cai no solo durante a ocorrência de uma tempestade cujo impacto pode ser muitas vezes catastrófico.

Assim, reveste-se da maior importância o desenvolvimento de metodologias que utilizando, conjuntamente, informação fornecida por pluviômetros e pelo radar meteorológico permitam efetuar uma validação das chuvas ocorridas na região.

A pluviometria do ponto de vista de um radar meteorológico será de grande importância para inserir informações inéditas na tecnologia da agricultura, possibilitando um melhor manejo das atividades agrícolas levando-se em consideração as variações espaciais e temporais da chuva e os seus efeitos na produtividade de vários tipos de culturas agrícolas.

O conhecimento da pluviometria é essencial para qualquer atividade agrícola, além de outros setores de grande valor sócio-econômico. No Brasil, a disponibilidade dessa informação é escassa com os dados normalmente pertencendo a grupos, associações, empresas particulares, agricultores, etc., o que é um grande dificultador na obtenção dos mesmos. Além disso, há falta de padronização em relação a essa informação, ou seja, são dados em sua maioria armazenados sem uma devida análise de consistência.

Novas áreas de plantio poderão ter seu planejamento embasado em informações pontuais de chuva coletadas por um radar meteorológico. Várias atividades agrícolas poderão ser beneficiadas de forma inédita, com as informações detalhadas de pluviometria estimada por radar, uma vez que esse tipo de informação incorpora tecnologia de ponta, o que poderá favorecer a implementação de técnicas avançadas na agricultura de produção como a Agricultura de Precisão (AP). O grande potencial de aplicação dessa nova e avançada tecnologia, na agricultura brasileira, valoriza sobremaneira os resultados finais desta pesquisa. À medida que a aplicação desses resultados for se expandindo no Estado de São Paulo, em particular na região central, irá crescendo a importância dos mesmos.

Especificamente sobre pluviometria oriunda de dados de radar meteorológico são poucos os trabalhos desenvolvidos na área. As pesquisas mais frequentes são aquelas que relacionam os dados medidos pelo radar e os coletados em pluviômetros. Entretanto, as medidas são obtidas em escalas diferentes pois os pluviômetros amostram parte da precipitação que chega praticamente a um ponto da superfície, enquanto que o radar apresenta um volume de uma área onde está ocorrendo a precipitação, que pode conter o ponto onde está localizado o pluviômetro. Muitos pesquisadores procuraram validar informações de radar com as de pluviômetros tidas como verdade terrestre.

As informações de radares meteorológicos são ainda, timidamente, utilizadas no Brasil, estando a maior concentração de usuários na agricultura situada nas grandes plantações de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo. O desenvolvimento de um banco de dados que contenha informações detalhadas da variabilidade da chuva no Estado de São Paulo poderá ser determinante no desenvolvimento da Agricultura e, em um futuro bem

próximo, da agricultura que vem utilizando tecnologia de ponta no Estado de São Paulo. As informações pontuais de chuvas agregadas aos dados coletados no campo, valendo-se do Sistema de Posicionamento por Satélite (GPS), acoplado às máquinas agrícolas possibilitarão uma melhor análise e tratamento desses dados, implicando em um melhor planejamento do uso de insumos ou aplicações agrícolas. Com isso, ocorrerão ganhos econômicos para o agricultor, com mínimo impacto ambiental. A construção desse banco de dados, com informações espaciais e temporais vai ao encontro dos desenvolvimentos na AP revertendo no uso mais racional da terra.

Utilizando recursos computacionais e estatísticos disponíveis será possível conhecer com detalhe (a cada 1 km) as direções preferenciais, dentro do Estado de São Paulo, das localizações dos ecos de maior intensidade (normalmente associados a tempestades severas) as zonas de maiores ocorrências de chuvas, sua variação mensal e sazonal.

A utilização das técnicas empregadas na agricultura moderna deve, primeiramente, caracterizar e compreender a variabilidade do ambiente (campo) para, em seguida, poder distribuir o fertilizante somente nas áreas onde realmente haja necessidade, influenciando diretamente na maneira mais segura e ambientalmente mais correta, ao contrário da maneira como é aplicado hoje nas maiorias das propriedades (aplicação uniforme). Se isto for feito corretamente, então, a eficiência aumentada da aplicação conduz a uma redução no impacto ambiental potencial (que é um dividendo sócio-político) e deve aumentar o lucro líquido das propriedades produtoras.

As informações climatológicas com alta resolução espacial possibilitarão a confecção de trabalhos rotineiros como balanço hídrico, mapas de fertilidade/solo (para identificar o potencial de fertilidade do solo), mapas de estágios da cultura, mapeamento da colheita, programação de aplicações de pesticidas, etc.

Este trabalho permitirá às comunidades agrícola e científica o conhecimento de uma pluviometria com alta resolução espacial para a região central do Estado

de São Paulo, o que possibilitará detalhar a variação mensal ou anual da chuva com precisão e ineditismo na forma digital disponível para acesso direto pelos órgãos oficiais e empresas do ramo da agricultura. Outrossim, essa metodologia pioneira constituir-se-á numa fonte de informações para pesquisas em diversas áreas da ciência que necessitem de informações da intensidade, localização e quantificação da chuva acumulada.

2. Revisão de Literatura

2.1 A Tecnologia e o Radar Meteorológico

A meteorologia, como toda ciência, esteve refém do avanço tecnológico, devido à necessidade do entendimento do comportamento dinâmico da atmosfera. Como consequência, os primeiros conhecimentos da física foram o estopim do desenvolvimento da ciência meteorológica como um todo e em especial, de suas aplicações no cotidiano. Havia necessidade, então, de conhecimentos de física para o desenvolvimento dessa tecnologia. Skolnik (1980) fez um levantamento histórico do desenvolvimento pioneiro de Heinrich Hertz que em 1886 descobriu experimentalmente que as ondas eletromagnéticas são refletidas por certos objetos. Nessa linha experimental, Skolnik (1980) cita um engenheiro alemão, Hans Christian Hulsmeyer em 1903, aproveitando a reflexão dessas ondas (hertzianas), descobriu um detector de obstáculos (telemobiloscop), o qual veio a patentear

em seguida. Marconi (1922) realizou um importante estudo da propagação de ondas de rádio (ondas curtas), onde foi concebida a mais avançada formulação dos princípios de detecção eletromagnética.

A tecnologia para que a meteorologia como um todo pudesse se desenvolver, só começou a acontecer em 1939, com a invenção de uma máquina de calcular pelo Búlgaro John Vincent Atanasoff, que aprimorou a invenção e criou a máquina “Atanasoff-Berry”, em 1942, que traz os fundamentos de um computador digital, como números binários digitais, memória digital regenerativa e circuitos para operações matemáticas.

Em 1949 surge o EDSAC – Eletronic Delay Storage Automatic Calculator ou calculadora automática com armazenamento por retardo eletrônico, criado pelo inglês Maurice Wilkes, que foi o primeiro computador operacional em grande escala capaz de armazenar os seus próprios programas. A partir daí, o radar meteorológico começa a existir como um equipamento de alta tecnologia para estimar a precipitação pluvial em tempo real e formação de banco de dados para pesquisas de fenômenos meteorológicos.

2.2 - O Radar Meteorológico

Radar, sigla originária do inglês (Radio Detection And Ranging), designa um sistema usado para detectar e determinar a distância (“ranging”) de um alvo, registrar, monitorar e estudar alvos, fazendo uso da radiação eletromagnética. Opera através da emissão de um sinal eletromagnético e o recebimento da energia espalhada de volta ao radar pelos alvos, os quais, no caso do radar meteorológico, são constituídos pelas gotas de chuva.

Rinehart (1991) explica: “... *rádio e radar ambos operam usando radiação eletromagnética. Radiação eletromagnética, como o nome sugere, tem ao mesmo tempo as duas componentes: elétricas e magnéticas. Cada componente são como ondas*

magnéticas e ondas elétricas vibrando em vários ângulos e no sentido da propagação. A radiação eletromagnética consegue viajar na velocidade da luz (a luz por si já é uma forma especial de radiação eletromagnética, ela acontece apenas na frequência e no comprimento de onda na qual é detectado pelos nossos olhos).”

Da física clássica sabemos que existem duas importantes características da radiação eletromagnética, que são a frequência e o comprimento de onda, relacionadas pela equação abaixo:

$$f = \frac{c}{\lambda} \quad (1)$$

em que: c é a velocidade da luz (em metros por segundo), λ o comprimento de onda (em metros) e f é a frequência em Hertz¹. O intervalo da radiação eletromagnética, vai de frequências de 10^4 a 10^{20} Hz, conforme a Figura 1, onde tem-se todo o espectro de radiação eletromagnética, com as frequências entre os intervalos mencionado.

2.2.1 Tipos de radares – Características principais

Os comprimentos de onda utilizados pelos diversos tipos de radares normalmente vêm referenciados por letras (L,S,C,X, e K); o que segundo Skolnik (1980), está relacionado aos códigos de segurança utilizados nas guerras, ou seja, sem conotação científica.

Em função da sua utilização, existem diversos tipos de radares levando em consideração o comprimento de onda. A Figura 1, mostra que o radar que opera no menor comprimento de onda é o banda K (0,8 – 2,7 cm), conhecido como radar de duplo comprimento de onda, ou seja, na mesma tarefa (varredura) ele utiliza dois comprimentos de onda: 0,8 cm e 2,7 cm. Foi usado no passado, na antiga União Soviética e em algumas cidades do Leste Europeu, principalmente para detectar nuvens.

¹ 1 Hertz = 1 ciclo/segundo

O Radar banda L opera com um comprimento de onda entre 15 e 30 cm (figura 1), sendo o mais utilizado na faixa de 23 cm, para interpretação de feições geológicas e discriminação de solos e vegetação. Considerado como um radar de alto valor financeiro é pouco utilizado em meteorologia.

O radar banda X (Figura 1) opera com o comprimento de onda ao redor de 3 cm (9.300–10.000 MHz), sendo muito utilizado na aviação e na marinha, tanto em terra como transportado por aviões, ou seja, uma antena fixa é propagada por meio de uma plataforma móvel (um avião). No caso do avião, a direção de visada é lateral, em relação à direção de vôo da aeronave. A maioria dos radares até 1970 eram banda X. Excetuando-se os localizados nas regiões polares ou próximas dos pólos, ele na época foi pouco utilizado no restante do mundo. Hoje em dia o radar banda X é atraente devido à praticidade, pois pode-se obter informações em pequenas áreas, com a primeira elevação sendo obtida com um refletor de apenas 2 m de diâmetro, sendo a estrutura da antena de fácil manejo, com preço relativamente baixo.

O radar banda C (5.300 – 5.700 MHz) opera com comprimentos de onda entre 3,9 e 6,2 cm (Figura 1), o que facilita em penetração em precipitações com intensidades significativas e quando usado com um sistema de processamento computacional, pode incorporar correções quanto aos problemas relacionados à atenuação, que é um efeito combinado da dispersão e da absorção da energia do feixe do radar, enquanto se propagada através da atmosfera. Esse efeito causa uma redução do sinal e do eco, sendo menor, quando nos maiores comprimentos de onda.

Finalmente, o radar banda S (2.700– 2.900 MHz), trabalha em grandes comprimentos de onda (6,9 – 19,3 cm), sendo recomendado para operar em regiões onde ocorrem chuvas intensas, uma vez que, a atenuação pela interferência da precipitação é praticamente desprezível.

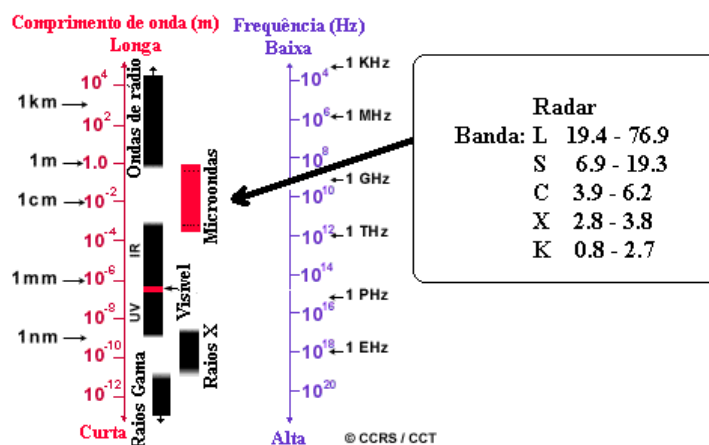


Figura 1 – Espectro da radiação eletromagnética, em destaque o intervalo de comprimento de onda dos radares.

(Adaptado de http://wave.prohosting.com/geodatos/html/cap_07-3.htm)

Pelo exposto acima é na região de microondas do espectro eletromagnético que os radares meteorológicos operam. Em meteorologia com radar, a caracterização das faixas do espectro, que são usualmente adotadas, são feitas em termos do comprimento de onda (λ) da radiação eletromagnética, enquanto outras áreas da ciência adotam a frequência como característica.

De acordo com Sauvageot (1992), a propagação de radiação eletromagnética, com comprimento de onda muito curto na atmosfera é influenciado pelas propriedades físicas do meio em que ela atravessa.

A operação do radar meteorológico é, então, baseada no princípio de que ondas eletromagnéticas podem se propagar através da atmosfera e que, quando as mesmas encontram gotículas de água, uma pequena porção da energia das ondas é refletida pelas gotas de precipitação retornando para o receptor. O transmissor gera energia eletromagnética que é dirigida ao alvo pela antena, de onde parte é refletida e retorna ao radar onde, daí, as informações são direcionadas ao receptor pela atuação de um comutador automático, isto é, usa-se uma mesma antena para transmitir e receber energia eletromagnética.

A distância do alvo é determinada pelo tempo decorrido entre a transmissão do sinal e o recebimento do sinal de retorno. A intensidade do eco é obtida pela medida da energia que retorna, uma vez que são conhecidas a energia emitida e a distância percorrida. Para determinar com exatidão a região do espaço onde está localizado um alvo (chuva) em uma mesma elevação e azimute são transmitidos cerca de 40 pulsos por segundo de energia com alta potência, o que permite amostrar um mesmo alvo 40 vezes, enquanto é feita uma média do sinal retornado do alvo. Tudo isso é possível porque as ondas eletromagnéticas viajam à velocidade da luz.

A unidade da refletividade (Z), que caracteriza a grandeza do alvo é milímetro à sexta potência por metro cúbico (mm^6/m^3), se o comprimento de onda e o diâmetro dos hidrometeoros são expressos em centímetros. Em uma tempestade, normalmente com presença de precipitação em forma de granizo, as refletividades variam de 10^2 à 10^6 mm^6/m^3 (limiar de tempestade severa). Para simplificar, a representação desse valor expressa a refletividade (Z) em decibéis, que é dez vezes o logaritmo na base 10. Portanto, uma tempestade que tenha $Z=10^5 \text{mm}^6/\text{m}^3$, substituindo na equação (2), obtém-se uma refletividade de $Z=50\text{dBZ}$.

$$Z = 10 \log Z \quad (2)$$

Onde por definição $\text{dBZ} = 10 \log Z \quad (2.1)$

De acordo com Battan (1973), o que determina a resolução de um radar ou a menor distância entre dois alvos medidos pelo radar é a largura de pulso² e abertura do feixe³. Considerando por aproximação que a velocidade de onda transmitida pelo radar é igual a velocidade da luz ($3 \times 10^8 \text{m/s}$), a largura do pulso será de 600 metros. Sauvageot (1992), considera a incerteza na determinação da distância dos alvos do radar como sendo a metade do comprimento do pulso, no caso do radar de Bauru/SP, 300 metros.

² Para o radar de Bauru a largura de pulso é $2\mu\text{s}$ ou $2 \times 10^{-6} \text{m/s}$

Em resumo, a coleta dos dados é feita por uma antena em formato parabólico com 3,6 m de diâmetro, no caso do radar de Bauru (Figura 2), para que possa transmitir e receber os sinais de rádio. Essa antena tem capacidade para girar 360 graus no azimute e até 90 graus na elevação permitindo que o radar cubra um grande volume da amostra. O sistema coleta dados normalmente girando a antena em 360 graus em uma elevação definida. Quando essa varredura termina, a elevação é aumentada ligeiramente e uma outra varredura é executada na nova elevação. Isso continua até que todas as elevações desejadas sejam completadas.

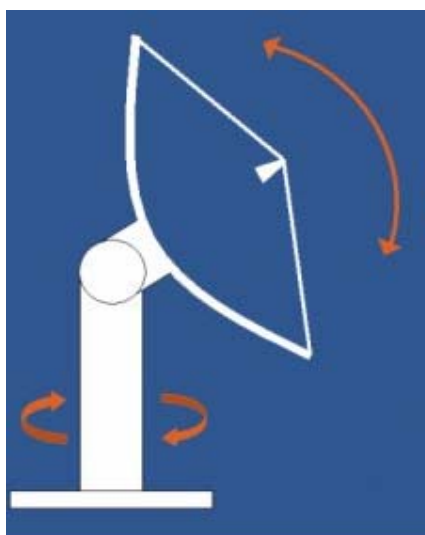


Figura 2. Movimento programado da antena para coleta de dados de radar.

Quando a programação de elevações termina, os dados são processados e as imagens geradas. Diversos produtos são programados para cada tempo de varredura, tais como CAPPI (11 elevações), Surveillance (01 elevação) e Air Clear (05 elevações), assunto que trataremos mais adiante.

³ Para o radar de Bauru a abertura do feixe é 2°.

2.2.2 O radar meteorológico de Bauru/SP

No ano de 1973 a FAPESP - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo financiou um projeto que previa a operação e pesquisa meteorológica com o uso de um radar. Em 1974, foi instalado o primeiro radar meteorológico banda C no IPMet - Instituto de Pesquisas Meteorológicas. A partir dessa data, o Instituto tomou a iniciativa de operação e pesquisa com radar meteorológico no país.

Para dar ao IPMet autonomia operacional, a FINEP - Financiadora de Estudos e Projetos, aprovou projeto para aquisição de um sistema para processamento de sinais de radar em 1980, baseado na concepção da informação digital dos dados, o que permitiu a instalação de um sistema de processamento, facilitando o armazenamento para pesquisas e disseminação dos dados com muita rapidez para a mídia da época. Em 1992, com mais recursos obtidos através de projetos de pesquisas, junto à FINEP, o antigo radar banda C foi substituído por um modelo banda S, em operação até hoje no Instituto.

O radar meteorológico banda S de Bauru/SP pertence à Universidade Estadual Paulista – UNESP, instalado no Instituto de Pesquisas Meteorológicas – IPMet. Esse equipamento tem como função principal, coletar dados para pesquisa e monitorar a atmosfera visando atender aos órgãos governamentais, estadual e municipal, Defesa Civil, órgãos ligados a setores produtivos tais como usinas de álcool e açúcar, centros de pesquisas e a população em geral.

O IPMet tem como perfil, no que se refere ao equipamento radar, atuar em duas linhas importantes a pesquisa e a operação do sistema, implicando em característica de prestação de serviço ininterrupta, ou seja, que não pára durante todos os dias do ano e em todos os períodos do dia, com vigilância meteorológica de plantonistas 24 horas, separados em 4 plantões de seis horas cada.

O radar meteorológico de Bauru é referência mundial e em termos de

América do Sul é o que detém, maior tempo de atividade voltada à pesquisa e à operação, com atendimento direto ao público por vários meios de comunicação. O radar está instalado a uma altitude de 620 metros, na latitude 22,35°S e longitude 49,03°W. A Figura 3, mostra a localização geográfica do radar, bem como os Estados vizinhos e alguns detalhes do sistema de drenagem, com destaque para os principais rios: Grande, Tietê e Paranapanema. Os círculos representam o alcance do radar meteorológico de Bauru, sendo o raio de 240 km limite do produto CAPPI e o raio de 450 km limite do produto Surveillance (vigilância) ou PPI - Indicador de Posição no Plano (Plan Position Indicator).

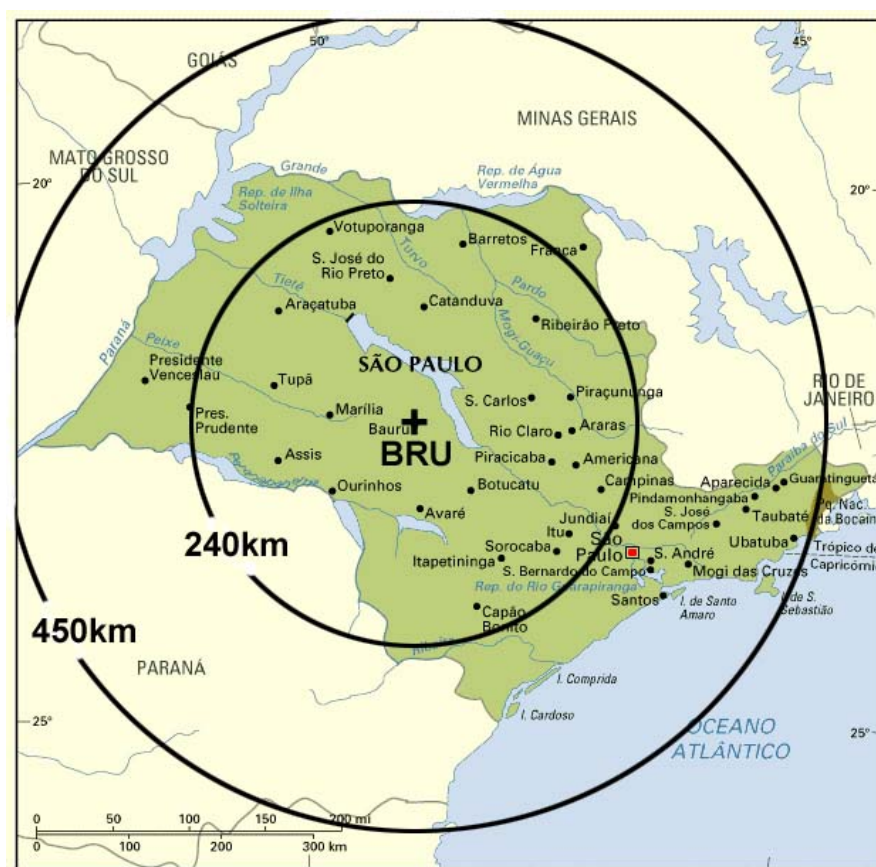


Figura 3 - Mapa do Estado de São Paulo, com destaque para as principais cidades, rios, raios de alcance do radar meteorológico (240 km e 420) e a localização da cidade de Bauru. (Fonte: <http://www.guianet.com.br/sp/mapasp.htm>)

2.3 - Erros na medição

2.3.1 - Ecos sem precipitação

De acordo com Clift (1985) é possível que existam ecos de pouca refletividade retornando ao radar mesmo em um dia de céu claro. Muitas partículas podem refletir quantidades pequenas de energia do radar incluindo nuvens, fumaça e névoa. Mesmo os efeitos atmosféricos, como camadas de inversão e variação na densidade do ar introduzida pela variação da temperatura, podem produzir ecos. Estes ecos não são erros ou problemas com o radar, são fenômenos meteorológicos normais, ou seja, fenômenos sem precipitação detectados pelo radar.

2.3.2 - Ecos de terrenos

Outra classe de ecos sem precipitação é a relacionada a obstáculos fixos ou ecos de terreno. Essas reflexões são normalmente causadas por obstáculos na superfície, tais como: prédios, montanhas etc., próximos à antena.

Segundo Wilson (1979), quando o radar transmite um pulso de energia, parte dela pode ser interceptada por alvos na terra, tais como edifícios, árvores, carros, árvores, montanhas. Ecos de terrenos não estão necessariamente associados a obstáculos em superfície; sendo que queimadas, insetos e pássaros (Sauvageot, 1992), também aparecem nas imagens de radar. O sinal do retorno desses objetos é chamado eco de terreno. Ecos de terrenos interferem na detecção de alvos meteorológicos, tais como chuva, porque eles têm grande refletividade, necessitando de conhecimento geográfico da região onde o radar está instalado para sua identificação.

A maioria dos ecos de terrenos (ecos fixos) aparece dentro de um raio de 70km do local do radar (Bauru/SP), onde o feixe está ainda perto da superfície terrestre. Quando o feixe do radar está mais distante, devido ao ângulo de elevação e à curvatura da

Terra, o eco de terreno tende a desaparecer. Nos radares Doppler, os ecos de terrenos são facilmente identificados porque a velocidade radial dada pelo efeito Doppler será aproximadamente zero, uma vez que, nenhum dos alvos em terra estão se movendo com relação ao radar. A tarefa CAPPI utilizada no radar de Bauru (3,5 km) elimina os ecos fixos.

2.3.3 - Efeito da curvatura da Terra

Clift (1985) e (Sauvageot, 1992), consideram uma situação comum, nos produtos gerados pelo radar: a atenuação da chuva com o aumento da distância em relação à localização do radar. No espaço livre, o feixe eletromagnético viaja, aproximadamente, em linha reta. Entretanto, na atmosfera existem importantes variações verticais na pressão, temperatura e umidade. O gradiente dessas variáveis causa uma refração no feixe. A Figura 4 mostra que, a uma distância de 120 km com o feixe a 0° de elevação abaixo de 1 km nenhum tipo de chuva será detectada pelo radar; na mesma situação, à distância de 180 km, nada é observado abaixo de aproximadamente 2 km, como também, a 240 km abaixo de 3 km. Esse efeito provoca uma incerteza na estimativa da intensidade da precipitação.

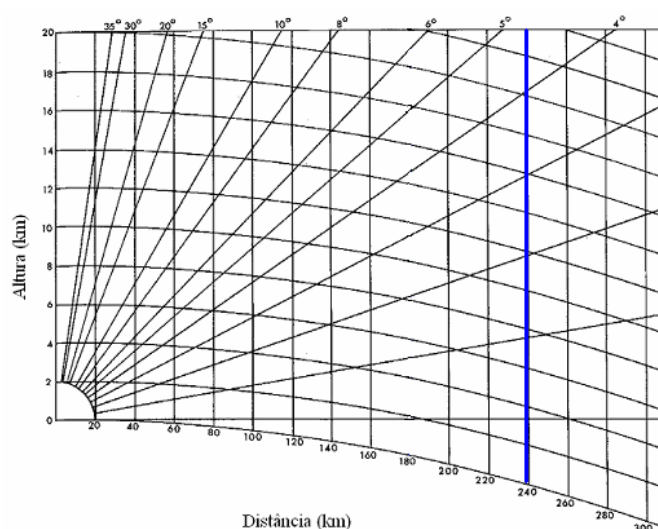


Figura 4 – Gráfico mostrando o efeito da curvatura da Terra assumindo a refração padrão. A linha vertical em destaque representa a distância do raio usada nesta pesquisa. (Adaptado de Clift, 1985, p.47)

2.3.4 - Propagação anômala

Battan (1973) mostrou que falsos ecos podem ocorrer quando uma variação na densidade do ar causa um encurvamento do feixe de microondas, ocasionado uma refração do sinal do solo (sem atingir a nuvem) para o radar. Esse tipo de fenômeno é muito observado durante todo o ano, nas primeiras horas do dia, com frequência maior no inverno, sendo também chamado de superrefração.

2.3.5 - Erros devido ao ambiente atmosférico

Calheiros (1982) cita vários autores que pesquisaram erros devido à atenuação por gases atmosféricos (Blake, 1970), por precipitação (Wexler e Atlas, 1963) e por nuvens. A formação de películas d'água na superfície do radome tipo abóbada, que é um invólucro agregado à antena visando, geralmente, proteger seu desempenho eletromagnético da degradação oferecida pelos efeitos do ambiente físico. Clift (1985) sugeriu o comprimento de onda de 10 cm (Banda S, 2700 – 2900MHz), como sendo o mais adequado para as regiões onde são registradas chuvas fortes com regularidade e, que, a atenuação devido à precipitação é em grande parte minimizada devido ao comprimento de onda relativamente grande do radar.

2.3.6 - A contaminação do lóbulo lateral da antena.

A contaminação dos dados de radar em virtude do lóbulo lateral está representada na Figura 5, que é o resultado da potência retornada dos lóbulos que estão fora do lóbulo principal. Segundo Clift (1985), a potência transmitida dentro do lóbulo principal é, significativamente, maior do que qualquer uma dos lóbulos secundários. Para um dado alvo, os lóbulos laterais retornariam, aproximadamente, menos de 54 dB da potência do lóbulo principal. Assim, quando ambos estão iluminando uma área da precipitação, todo o

incremento da potência retornada oriunda dos lóbulos laterais é, geralmente, insignificante. A exceção seria durante as varreduras de baixa elevação com presença de forte inversão de temperatura em superfície (condições de superrefração).

Na mesma Figura 5, é apresentado um exemplo de uma situação com uma tempestade próxima da antena. Considerando o gradiente de refletividade bastante forte, pode-se ter a seguinte situação: enquanto o lóbulo principal está iluminando uma área de céu claro, os lóbulos laterais estarão iluminando a tempestade, conforme ilustrado na situação 1, da Figura 6. Nesse caso, uma refletividade seria indicada ao longo do azimute, o que corresponderia ao lóbulo principal, levando à errônea interpretação da posição da tempestade (agora na posição 2 do lóbulo principal). Essa situação poderá ser agravada se o lóbulo principal estiver iluminando uma tempestade, o que poderá ser superdimensionada, devido a contribuição do lóbulo lateral.

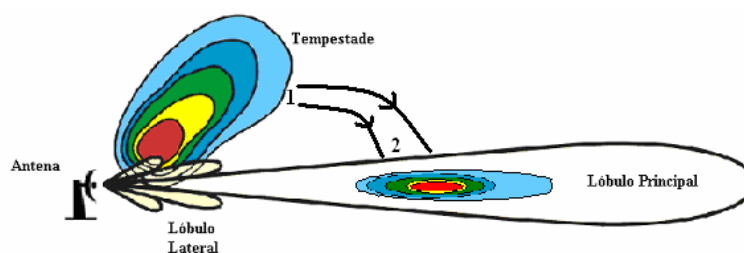


Figura 5 - Contaminação devido ao lóbulo lateral da antena.

Fonte: (Adaptada www.wdtb.noaa.gov/DLCourses/wbt/88dintro/sections/section5/sect5-pg1.htm)

2.4 Produtos do radar

2.4.1 CAPPI

De acordo com o manual de radar do tempo (1967), o CAPPI - Indicador de Posição no Plano a Altitude Constante (Constant Altitude Plan Position Indicator) é uma projeção em um plano horizontal constante dos dados de refletividade coletados pelo

radar. Esses dados são interpolados para um nível representativo 3,5 km (para o radar de Bauru/SP), em um raio de 240 km em torno de Bauru/SP. Operacionalmente no IPMet, os CAPPIs, quando em situação de ocorrência de chuvas são efetuados a cada 7,5 minutos e, quando da diminuição da quantidade de áreas com chuvas, a cada 15 minutos (com 11 elevações). Para composição de cada CAPPI o equipamento é programado para que a antena do radar possa dar uma volta completa de 360°, mudando a elevação a cada volta completada, coletando informações do nível mais baixo até o topo das nuvens. Finalmente, é feita uma média dessas amostras correspondente à altura de 3,5 km em um raio de 240 km do radar. A Figura 6 mostra algumas elevações (linhas retas e pontilhadas) com a respectiva correspondência entre o alcance horizontal (até 240 km) e a altura do feixe (km). A linha vermelha da Figura representa o CAPPI médio das elevações utilizadas no esquema.

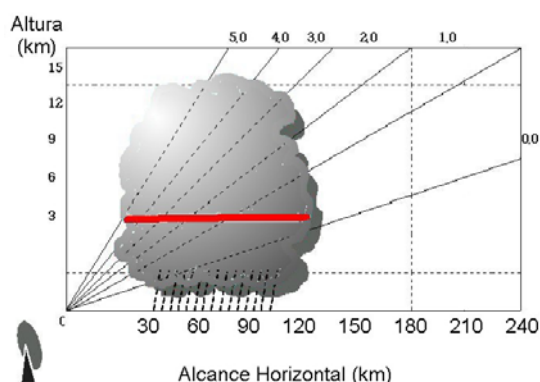


Figura 6 – Representação do produto CAPPI, onde a linha em destaque (vermelha) representa o CAPPI médio das elevações (0 e 5°).

O produto CAPPI, utilizado em tempo real, tem valor imprescindível para o monitoramento, onde a cada 7,5 minutos obtêm-se informações em tempo real das áreas de precipitação, com intensidade da chuva e do vento radial. Esse é o principal produto utilizado pelos meteorologistas na época das enchentes ou da estação chuvosa, que os auxilia, com informações temporal, espacial e precisas, o que permite orientar autoridades, defesa civil e a população em geral. Uma grande vantagem desse produto, no raio utilizado é a isenção do de ecos de terrenos.

Por ser operacionalmente eficiente para decisões rápidas esse produto é utilizado todo tempo, com informações mais recentes e mais precisas do que imagens de satélites, permitindo assim a tomada de decisão em casos de enchentes, muito comum nos meses chuvosos no Estado de São Paulo. Com animação de imagens sucessivas a cada 7,5 minutos, os meteorologistas, técnicos e usuários devidamente treinados para interpretação do produto, conseguem calcular velocidade e direção aparente das áreas de chuvas, a qualquer tempo.

2.4.2 PPI

Uma das maneiras de visualizar o eco do alvo (chuva) correspondente é o chamado PPI - Indicador de Posição no Plano (Plan Position Indicator), que é gerado por uma varredura circular completa (360°), com a antena posicionada numa dada elevação. O manual de radar do tempo (1967) explica que o radar, ao transmitir energia, parte dela atinge o alvo (hidrometeoros). Essa energia que retorna do alvo à antena receptora, após processamento, propicia os dados necessários para visualização dos locais onde estão ocorrendo chuvas. O alcance máximo para essa informação é de 450 km a partir do radar. Parte dessa energia é interceptada por alvos fixos tais como: obstáculos físicos (prédios, montanhas, etc.), árvores dentre outros.

Uma grande vantagem do PPI, com elevação de 0° de elevação, é poder fornecer informações de locais distante do radar, principalmente na localização de chuvas com topos elevados, permitindo uma certa facilidade na operação de vigilância meteorológica nos deslocamentos de tempestades severas acompanhadas de granizo.

2.4.3 Air Clear (tarefa Ar Claro)

Em dias de céu claro alvos presentes como os insetos, pássaros e fuligem (“carvãozinhos”), que levantada pelos ventos durante as queimadas (muito comum no

interior de São Paulo), aparecem durante várias épocas do ano são detectados pelo radar Doppler.

No inverno, as companhias madeireiras com plantações de pinus e eucaliptos situadas dentro de um raio de 30km do radar de Bauru, utilizam essas informações no combate aos incêndios florestais.

Para Sauvageot (1992), outra informação importante retirada desse produto é a turbulência, pois está associada com as variações na densidade na atmosfera. Quando as variações na densidade ocorrem em uma escala correspondendo à metade do comprimento de onda do radar, a energia será espalhada por um processo de difração. Os ecos do radar em uma atmosfera desobstruída serão mais comuns em dias quando os níveis mais baixos da atmosfera estão instáveis, devido à presença de áreas com correntes ascendentes de ar quente (térmicas) bem definidas, ou quando o vento aumenta rapidamente com altura.

2.4.4 Topos de ecos

O produto Topo dos Ecos é um excelente indicador de ocorrência de granizo. Waldvogel et al. (1979), estudou 195 células convectivas fortes, com o objetivo de validar critérios de detecção de granizo com radares Doppler na antiga União Soviética e na Alemanha. Os critérios existentes deixavam muito a desejar, pois dos 50% das gotas de chuva identificadas como granizo nunca chegaram ao solo e desses somente 30%, realmente eram granizos. Assim, Waldvogel et al. (1979) propôs um novo critério, amplamente utilizado até hoje, com pequenas variações. Será considerada uma célula de granizo se a altura do contorno de 45 dBZ for maior do que 1,4 km, acima do nível de congelamento (0° C).

2.4.5 VIL (Integração Vertical do Conteúdo de Água Líquida)

Uma quantidade que pode ser calculada após todas as varreduras do radar (11 elevações) é denominada de VIL (Vertically Integrated Liquid water content) -

Conteúdo de Água Líquida Integrada Verticalmente. O valor, em alguma posição do raio de atuação do radar, será a soma de todas as refletividades observadas em uma coluna vertical acima dessa posição. A unidade de VIL é kg/m^2 ou milímetro de água precipitável, que pode ser considerada como uma medida para o potencial de tempestades. A taxa em que as gotas d'água precipitadas são proporcionais à velocidade ascendente da nuvem e, conseqüentemente, o valor do VIL é função da velocidade ascendente e da espessura da nuvem.

Benneti (1991) mostrou que existe uma forte correlação entre o VIL e os parâmetros de um radar banda C instalado em Bauru/SP, o que possibilitaria a identificação das células potencialmente severas, com grande utilidade e aplicação operacional.

Gomes e Held (2004) utilizando os parâmetros de um radar banda S instalado em Bauru/SP, durante o mês de fevereiro na área central do Estado de São Paulo, no período de 1993 a 2002, concluíram que o parâmetro Densidade VIL é um indicador de tempestades potencialmente severas, independentes de massas de ar atuante.

2.5 - Radar X Pluviômetros

A medição de chuva com pluviômetro data da época do seu inventor, Aristóteles (séc. IV, 384-322 AC). Depois, a ciência meteorológica aguardou vários séculos esperando tecnologia quando em 1644, Torricelli inventou o barômetro, instrumento que permitiu iniciar as medidas básicas de meteorologia. Outros instrumentos, como o anemômetro e o termômetro, também vieram dessa época.

Um dilema antigo: como comparar as chuvas reportadas entre radar e pluviômetro? Vários caminhos têm sido apontados como solução, mas tudo indica que o tema esteja longe da solução definitiva, ademais Groisman e David (1994) mostraram que o pluviômetro é vulnerável quanto à variação local devido ao efeito do vento. O autor concluiu que a rede climática dos Estados Unidos subestima a precipitação total de 10 à 40%,

dependendo do tipo da precipitação. Os autores afirmaram que mesmo com os equipamentos impecavelmente instalados e aferidos, o vento durante as tempestades é uma fonte de erro considerável.

O problema esteja na maneira de coleta dos dados, sendo a principal diferença entre esses dois coletores de informações de precipitação. Embora a medida seja a mesma (chuva), as diferenças são encontradas na maioria dos estudos comparativos entre os dados de radar e os de pluviômetro, como Barnston (1991), Damant et. al. (1983), Calheiros (1982), Antonio (1991), Zawadzki (1975), Brandes (1975) . Mais recentemente, Calvetti et al. (2003) utilizando um método estatístico, considerando a influência da distância entre um ponto de coleta de dados e o pixel coincidente do radar, propuseram melhorias na estimativa da precipitação. Os autores citando Pereira Filho e Crawford (1995), afirmaram: *Apesar dos erros de medição do radar e dos pluviômetros não serem conhecidos, as estimativas de chuva com o radar meteorológico e as medições de chuva com a rede de superfície podem ser combinadas para diminuir erros.*

Muitos artigos científicos, que envolvem meteorologia com radar, são direcionados no sentido de calibrar a informação medida pelo radar com aquelas efetuadas por pluviômetros. Utilizando 2939 pares de dados simultâneos de pluviômetro e radar em uma estação meteorológica na Finlândia, Saltikoff et al. (2000), não encontraram valores significativos no bias (ferramenta estatística que avalia duas grandezas), quando comparou a chuva medida por um radar banda S com a chuva medida por um pluviômetro tradicional. Com o objetivo de normalizar os dados de precipitação, os autores utilizaram a equação (3), em que G é a medida do pluviômetro e R_a é a medida do radar meteorológico; caso F for positivo isso significa que o valor apresentado pelo pluviômetro é maior do que o medido pelo radar, se negativa o radar está subestimando os valores medidos pelo pluviômetro. O inconveniente desse teste é quando o radar não detecta chuvas e o pluviômetro registra algum tipo de precipitação. Nesse caso a equação (3), não tem solução, minimiza a precisão dos dados. Tal problema só não ocorre quando utiliza-se a chuva acumulada mensal, para os meses mais chuvosos.

$$F=10*\log(G/R_a) \quad (3)$$

Collier (1989), Campos e Zawadzki. (1999), compararam as diferenças entre a medida do volume amostrado pelo radar meteorológico com referência ao valor em superfície tendo como base o pluviômetro (valor pontual). Os autores concluíram e mostraram que alguns dos erros relacionados com as duas medidas obtidas por radar e pluviômetro, estão relacionados com o erro do instrumento.

Utilizando de procedimentos estatísticos, Calheiros (1982), obteve uma relação entre o fator de refletividade de dois radares meteorológicos, um em Bauru/SP (banda C) e outro em Montreal/Canadá (banda S) e a intensidade da precipitação registrada em pluviógrafos. Esse procedimento levou em conta as diferenças entre os tipos de medidas efetuadas por cada instrumento e incorpora uma correção em distância entre a chuva e o radar, ou seja foram calculadas relações Z-R, para diferentes distâncias da localização do radar (Tabela 2).

Concordando com Collier (1989), dez anos depois, Campos (1999) confirmaria que não há dúvidas que a maioria das comparações entre radar e pluviômetros contém discrepâncias devido a erros do instrumento como, por exemplo, a ação do vento durante a ocorrência de chuva ou diferenças da amostragem, entre o volume iluminado pelo radar e o valor de referência no nível da superfície.

2.5.1 Tipos de precipitação pluviométrica

Precipitação pluviométrica é, geralmente, considerada como de dois tipos mais importantes: estratiforme e convectiva. Precipitação estratiforme é aquela oriunda de nuvens do tipo nimbostratos, enquanto que as chuvas convectivas caem das nuvens do tipo cumulus ou cumulonimbus.

Dye e Martner (1978) compararam o granizo observado em superfície com o valor da refletividade do radar, no nordeste do Colorado/USA. Utilizando 60 dias em que se registrou tempestades de granizo em superfície, nos anos de 1972 e 1976, os autores encontraram que em uma tempestade com presença de granizo, quando o valor da refletividade está entre 51 – 55 dBZ, do total precipitado 4% é granizo, entre 56 – 60, apenas 2% precipita na forma líquida e quando os valores de dBZ são maiores do que 60, toda a precipitação é na forma granizo, com tamanho maior do que 1,5 cm.

Tokay e Short (1996), utilizando 100 dias de chuvas intensas no oeste do Pacífico equatorial, tentando separar precipitação de tipos diferentes, (estratiforme e convectiva), encontrou que a classificação para a chuva do tipo convectiva é melhor representada para refletividades do radar acima de 40 dBZ.

Holleman (2004) apresenta uma técnica para acumulação de chuva oriunda de nuvens estratiformes, utilizando a tarefa CAPPI para os níveis de 0,8 km e 1,8 km, para os raios de 80 e 130 km, da localização do radar (De Bilt, Holanda). O autor apresentou valores menores de erros da chuva acumulada após o uso da técnica.

Yuri (2003) apresentou, para o Estado de Santa Catarina, estratégias para a administração do risco de chuvas de granizo em pomares de maçã, propondo uma combinação de diversificação espacial, a manutenção das telas anti-granizo e um software inteligente capaz de ajudar os agricultores em tomadas de decisões.

Os fruticultores de Fraiburgo/SC, em 1970, iniciaram o uso de foguetes anti-granizo, os quais quando explodiam dentro das nuvens, liberavam iodeto de prata, que levado pelas correntes ascendentes, quebrava os granizos diminuindo o seu tamanho, finalizando com a precipitação na forma líquida. De 1989 até 1994, um radar russo (tipo MRL-5), operado por uma cooperativa de produtores de maçã, visando a localização rápida do alvo com granizo para posterior uso dos foguetes.

2.6 A Relação Z-R

A chuva é composta por gotas com tamanhos diferentes. A distribuição do tamanho dessas gotas não pode ser determinada teoricamente, uma vez que, essa distribuição varia significativamente de um evento para outro. A literatura é rica em trabalhos sobre esse assunto com grande variabilidade de técnicas na tentativa de determinar um melhor entendimento sobre esse efeito na natureza da chuva. Estudos de comparação entre a informação de radar com informações terrestre de pluviômetros e distrômetros iniciou-se com a famosa relação de Marshall e Palmer (1948) e depois nessa mesma linha, com os trabalhos de Joss et al. (1970), Sekhon e Scrivastava (1971), Zawadzki e Antonio (1988), Sheppard e Joe (1990), Mcfarquhar e List (1993), Sheppard (1994), Willis (1994), Antonio (1998) e mais recentemente Quintão (2004), dentre outros.

Em geral, a maior contribuição desses estudos é no sentido de aperfeiçoar relações entre a intensidade de eco e a taxa de precipitação com a finalidade do uso operacional. A grande vantagem de estudar a distribuição de gotas de chuva é porque o volume de gotas de chuvas é muito pequeno se comparado com o volume amostrado da atmosfera pelos pulsos do radar convencional. Na verdade, esses estudos visam a solução das seguintes questões: Como converter o sinal do radar em milímetros de chuva? O resultado é satisfatório em relação ao coletado em superfície?

A solução mais utilizada para as questões acima consiste em aprimorar a fórmula empírica, que relaciona o sinal do radar com a taxa de precipitação, conhecida e aceita universalmente como a relação Z-R, na seguinte forma genérica:

$$Z = AR^b \quad (4)$$

Em que: R é a taxa de chuva (mm/h), Z é o fator de refletividade do radar (mm^6/m^3), ou seja, é o somatório do diâmetro da gota elevada a sexta potência (D^6) e, A e b são constantes empíricas. As constantes A e b variam conforme o tipo de chuva, devido à grande variabilidade da distribuição das gotas.

Na equação 4 temos que, A aumenta e b diminui, quando aumenta a intensificação do processo convectivo. Battan (1973), listou mais de 70 relações Z-R para radares do tipo banda C, para diversas situações (tipos de chuva, período do dia, etc.), e encontrou pequenas diferenças em relação a equação de Marshall-Palmer.

A relação Z-R mais comum é a de Marshall-Palmer, onde da equação 4, os autores encontraram os coeficientes $A = 200$ e $b = 1.6$, para chuvas do tipo stratiformes. Rinehart (1997) afirma que os radares meteorológicos conseguem obter altas resoluções na quantificação das chuvas ou aguaceiros, uma vez que o fator de refletividade (Z) de um radar varia de uma chuva de 20 dBZ ($100 \text{ mm}^6/\text{m}^3$) para 50 dBZ ($100.000 \text{ mm}^6/\text{m}^3$). Refletividades altas (75 dBZ), ainda segundo Rinehart (1997), têm sido medidas em tempestades, que é um valor muito elevado se comparado, por exemplo, aos associados com frequência ao granizo, a partir de 50 dBZ.

Pelo exposto, uma atenção especial deve ser dada à precipitação em forma de granizo, uma vez que a relação Z-R foi desenvolvida originalmente para a precipitação na forma líquida. Esse fenômeno é muito observado nos meses mais quentes, muito comum nas chuvas convectivas na região sudeste do Brasil. A importância da localização precisa desse tipo de precipitação deve-se ao seu alto grau de destruição, muito maior do que a chuva estratiforme.

Falconer (1984) associou categorias de chuvas, utilizando um Processador e Integrador de Vídeo (PIV), onde cada PIV representa valores médios de ecos, com a respectiva qualificação e quantificação das chuvas, conforme a Tabela 1. Os valores atribuídos aos ecos (dBZ), foram oriundos da relação de Marshall-Palmer.

Utilizando dados de 5 radares meteorológicos (banda C) em uma grade de 45 x 45km, Falconer (1984) fez um levantamento da quantidade diária de trovoadas que ocorreram no Estado de Nova York (USA), de 1978 à 1981. Comparando os dados dos radares com os dados observados pelo serviço oficial de meteorologia, que consistia em registrar as trovoadas ouvidas pelos observadores, no momento da ocorrência do trovão e anotar em

formulário apropriado, encontrou que a média anual de ocorrência de trovoadas era entre 10 e 45 dias de trovoadas, contra 20 e 30 dos dados oficiais. As informações dos radares mostraram ainda que entre 5% e 25% de todos os dias de trovoadas, caracterizadas com chuvas intensas apresentaram, valores de ecos maiores do que 50 dBZ.

Tabela 1 - Categorias de intensidade de precipitação quantitativa e qualitativa estimada por radar.

Fonte: Falconer, 1984.

Nível PIV	Z	R (mm/h)	Qualificação
0	-	0.0	-
1	<30	2,5	Leve
2	30-39	2,5-12,7130	Moderada
3	40-45	12,7-24,0	Forte
4	46-50	24,0-49,0	Muito forte
5	51-55	49,0-100	Intensa
6	56-60	100-205	Extrema

Uma técnica que estabelece estatisticamente a relação Z-R, em função da distância foi apresentada pela primeira vez no Brasil por Calheiros (1982) e Calheiros e Zawadzki (1987), quando os autores utilizando o método da soma das probabilidades, nos dados coletados pelo radar de Bauru (na época banda C) para as chuvas convectivas, nos períodos outubro a março de 1981-1982 e 1984-1985, os autores encontraram valores diferenciais de A e b em função da distância entre o centro do radar e a localização da chuva (Tabela 2).

Tabela 2 - Coeficientes A e b da relação $Z = AR^b$, com a correção da distância.
 Fonte: Calheiros e Zawadzki (1987).

Distância do Radar D_i (km)	A	b
≤ 40	544	1,39
$40 < D_i \leq 90$	236	1,59
$90 < D_i \leq 115$	58	1,85
$115 < D_i \leq 160$	9.3	2,28

Os aspectos da microfísica relacionados entre a refletividades Z e a taxa de chuva R foram discutidos por Steiner (2004). O autor utilizou ferramentas matemáticas e estatísticas (leis das potências, distribuição gama e problema inverso), atribuiu três condições microfísicas para a distribuição do tamanho das gotas de chuva. A primeira condição admite que toda variabilidade da distribuição é controlada pela variação do número de concentração de gotas; a segunda, que é controlada pelas características do tamanho da gota; e a última, que há um controle misto com a primeira e a segunda condição. Steiner (2004) concluiu que mesmo utilizando avançadas técnicas matemáticas e estatísticas, como por exemplo, o problema inverso, as incertezas das medidas continuaram existindo, talvez porque a única comparação disponível foi com dados de pluviômetros.

Na tentativa de apresentar uma melhor precisão da relação Z-R, Fiser (2004), utilizando dados de radar coletados por um ano (julho/1998 – julho/1999) na cidade de Praga – República Tcheca, inseriu artifícios matemáticos (lei das potências e polinômios de segunda ordem) nas equações (2) e (4), e avaliou o coeficiente de correlação e a raiz quadrada do erro médio. O autor concluiu que os artifícios não melhoram o desempenho da equação original, mas que o emprego da técnica usada por Waldvogel (1974), que envolve a comparação entre a distribuição do tamanho da gota de chuva, separadas por duas classes, com a chuva captada por um pluviômetro, apresentou melhorias sensíveis na estimativa da chuva.

Outros fatores podem estar associados à variabilidade da relação Z-R. Sauvageot (1990), citou alguns: o fator local como geografia e clima, peculiaridades da

atmosfera e circulação, tais como latitude, umidade e efeitos orográficos etc., que aliados a sazonalidade, dinâmica, termodinâmica e processos microfísicos, são responsáveis pela mudança e desenvolvimento da precipitação.

Um outro fator muito importante citado por Sauvageot (1990), se refere às estruturas das nuvens, onde um mesmo tipo de nuvem pode ter variações diferentes de outros lugares, como é o caso das nuvens convectivas que têm desenvolvimentos diferentes em diferentes latitudes.

2.7 Climatologia com radar

Na literatura existem vários artigos relacionados com dados de radar, a maioria deles tendo como objetivo melhorar a equação (1), validando-a com estudos de casos, ou com dados horários, mensais e semanais, como por exemplo, os trabalhos de Dumoulin e Cogombles, (1966); Kessler et al., (1968); Miller, (1972); Crane et al. (1975); Zawadzki et al., (1986); Bungarner e Dooley, (1986); Anagnostou e Krajewski, (1999); Saltikoff, (2000); Bringi, (2002); Sokol et al. (2002); Steiner, (2004); Pavlyukov et al., (2004) e Fiser (2004).

Gandú (1984) apresentou uma estatística de ecos de radar para a região leste do Estado de São Paulo, utilizando um radar banda S, com o objetivo de descrever o regime de precipitação associado às condições de larga escala. O autor concluiu na época que as células de tempestades têm deslocamento de oeste para leste, com velocidade média de 7 m/s, sendo que das 2.705 observações (entre Janeiro de 1979 e Março de 1980), coletadas pelo radar, a maior incidência esteve associada às chuvas convectivas.

Chaudhry e Calheiros (1996) apresentaram um estudo estatístico sobre as chuvas convectivas observadas nas tempestades detectadas pelo radar meteorológico de Bauru (banda C), entre outubro e março 1981-1982 e de 1984-1985, em duas áreas de 28 km x 28 km, localizadas a 82,2 km e 113,4 km, uma sobre uma região montanhosa e a outra sobre o Rio Tietê. Os autores constataram que a velocidade do movimento das células de chuva,

observado nessas áreas, estavam entre 20 e 50 km/h, tendo em média velocidades de 42 km/h. O período preferencial da ocorrência das chuvas convectivas foi entre 17 e 20 horas (local), sendo o horário das 17 horas o que mais apresentou número de ocorrências de chuvas convectivas.

2.7.1 A climatologia de eco e a Agricultura de Precisão

O termo "Agricultura de Precisão" (AP), refere-se basicamente à utilização da tecnologia como forma de se conseguir um maior controle na aplicação dos recursos em uma propriedade agrícola.

O Sistema de Posicionamento Global (GPS) e os vários sensores de controladores contínuos têm mudado, ao longo dos últimos anos, toda a agricultura. O GPS diferencial corrigido pode definir posições exatas no campo (± 1 m), ao passo que sensores contínuos, incluindo sensores do rendimento (adaptados em máquinas colheitadeiras), podem ser acoplados à posição dada pelo GPS e usados para a confecção de mapas que gravam e ilustram o grau e a posição exata da variabilidade do rendimento como mapa de produtividade.

A Figura 7 ilustra a produção de uma cultura qualquer em toneladas (t) por hectare (ha). É um exemplo de como se pode ter um entendimento da variabilidade na produção. Ressalta-se na mesma figura, que quando observamos trechos da propriedade, onde a produtividade é baixa, há a possibilidade de dezenas de possíveis causas, dentre elas, a distribuição não homogênea da chuva.

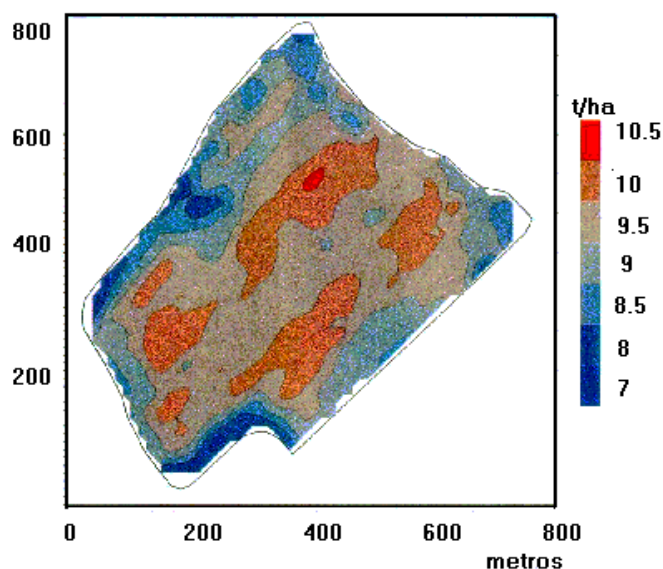


Figura 7 – Mapa de produtividade de uma cultura.

As pesquisas voltadas à AP começaram na década de 90. Um dos importantes trabalhos sobre essa técnica é o de Balastreire (1998), no qual é mostrado que a utilização dos conceitos de AP na cultura da cana-de-açúcar permitiu obter benefícios significativos de ordem econômica, de produção e ambiental. Nesse trabalho, o autor sugere a confecção de mapas de solo, da cultura (nos diversos estágios), da colheita e aplicação de insumos.

Balastreire et al. (2001) apresentou um mapeamento da produtividade de uma cultura de laranja realizada em uma propriedade no município de Limeira, Estado de São Paulo, em uma área de aproximadamente 3,3 ha, plantada com a variedade Natal. Concluiu que mapa de produtividade mostrou que a produtividade da cultura da laranja para as condições pesquisadas obteve uma alta variabilidade espacial dentro do mesmo talhão.

Balastreire et al. (2001) preparou o mapeamento da produtividade de uma cultura de café que foi realizado em uma propriedade do município de Espírito Santo do Pinhal, Estado de São Paulo em uma área menor do que a citada anteriormente (1,2 ha), com a variedade Catuaí Amarelo. Os autores concluíram que o mapa de produtividade mostrou que

existe uma região central do talhão, onde a produtividade é bem maior que a média. A investigação das causas que levaram a essa maior produtividade poderá permitir a identificação de providências, no sentido de aumentar a produtividade das demais áreas.

Os autores acima não atribuem à chuva uma das causas das discrepâncias encontradas nos mapas de produtividades, talvez porque um único pluviômetro não represente a verdade terrestre da chuva. Pelo exposto acima é de se esperar que a distribuição da precipitação na área pode ter sua importância na discrepância encontrada, e assim, a técnica de medir chuva com radar, pode ser incorporada nos avanços tecnológicos que a agricultura moderna vem utilizando.

3. Material e Métodos

3.1 Origem dos dados - Domínio da pesquisa

Os dados de radar, aqui utilizados, foram transpostos de fitas magnéticas para CDs, transformados em formato ASCII (Código padrão americano para intercâmbio de informações) e, em seguida, para o formato universal, com o objetivo de diminuir o tamanho dos arquivos e ao mesmo tempo torná-los acessíveis para qualquer tipo de máquina. Os dados coletados pelo radar, computados para um raio de 240 km, a partir de Bauru (Figura 8) foram programados para cada 7,5 minutos da tarefa CAPPI, ou seja, em uma hora de chuva é possível obter até oito arquivos. Cada arquivo é gravado em uma matriz com 480x480 pontos, onde cada ponto representa uma área de 1 km², sendo os valores das linhas posicionados na direção norte/sul e os das colunas na direção oeste/leste, com pares ordenados iniciando-se em (1,1) e finalizando-se em (480,480). A disposição de um ponto qualquer da matriz e a sua vizinhança, para efeito de estudo pontuais, também está apresentado na Figura 8.

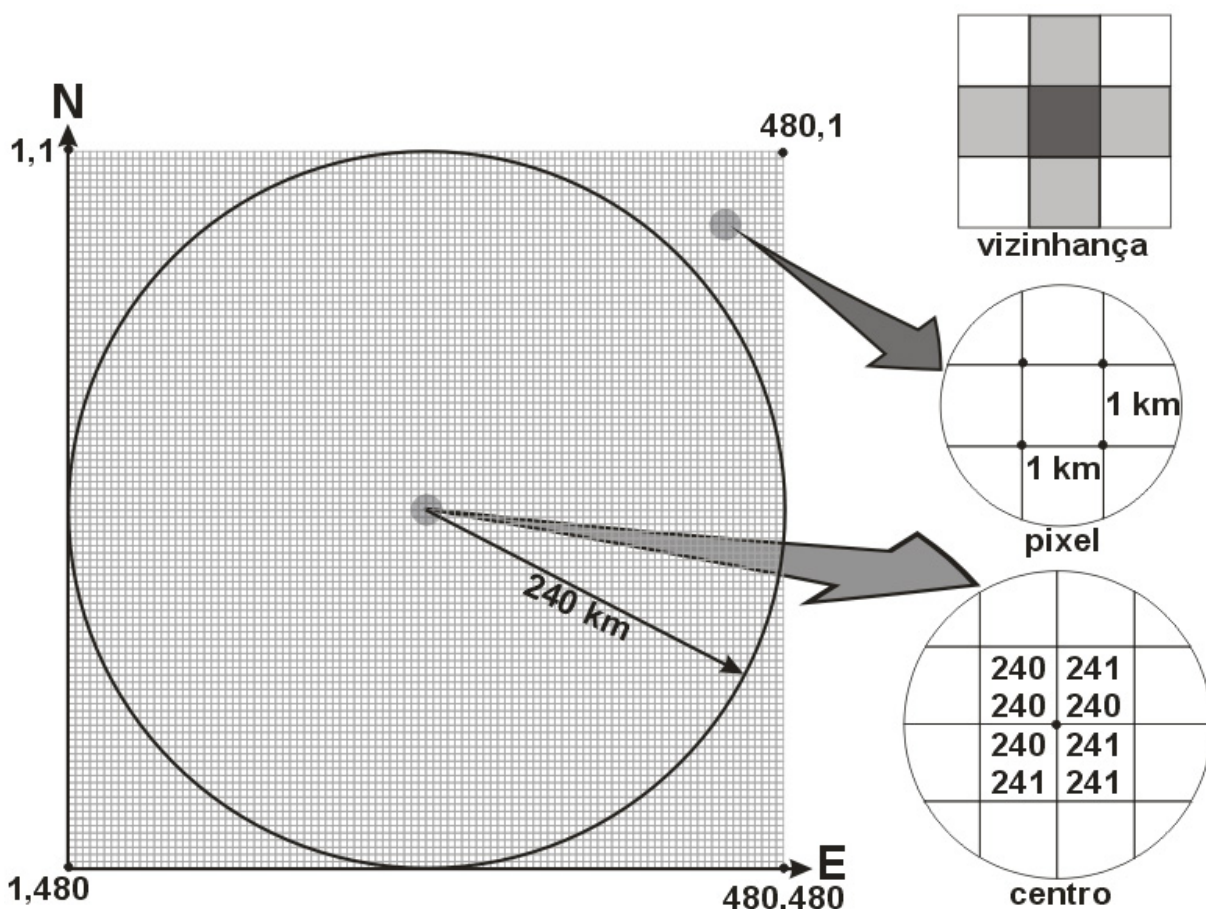


Figura 8 – Domínio da pesquisa (formato original), matriz de 480x480 pontos, onde cada ponto representa 1km^2 (pixel), em destaque o centro da matriz correspondendo à localização do radar meteorológico e a disposição da vizinhança de um ponto. O círculo representa a região escolhida para a pesquisa (domínio da tarefa CAPPI).

3.1.2 Altitude da região central do Estado de São Paulo

O relevo paulista pode ser considerado como planalto, uma vez que quase 85% de sua superfície está entre 300 e 900m de altitude, sendo que cerca de 7% está acima de 900m e os 8% restantes abaixo de 300m. Considerando-se uma análise de leste para oeste (sentido mar-interior), dentro do domínio da pesquisa, podemos distinguir na Figura 9, duas subdivisões das cinco unidades geomorfológicas existentes no Estado de São Paulo. As subdivisões das unidades geomorfológicas apresentadas a seguir foram adaptadas de Ab'Sáber (1969):

- *Cuestas Basálticas*: formadas pelos remanescentes erosivos das camadas de rochas vulcânicas basálticas na região de Botucatu, São Carlos e Avaré;
- O *Planalto Ocidental*, os planaltos das regiões de Marília, Catanduva (CAT) e Monte Alto.
- *Planalto Atlântico*: abrange a faixa de rochas cristalinas que vai da Região Sul do Estado: sul de Itararé (ITAR), Ribeirão Branco), Pilares (PILS), até a Região Nordeste, na divisa com o Estado de Minas Gerais

A Figura 9 apresenta a altitude do Estado de São Paulo, onde não se observa nenhuma área com altitude menor do que 300 metros, na região central. Sobressaem-se na Figura 9, duas extensas regiões de vales, a do Rio Tietê, de Penápolis (PEN) até Tietê, com altitudes entre 300 e 550 metros, e à oeste das cidades de: Araçatuba (ARA), Lucélia (LU) e Martinópolis (MART), com altitudes entre 300 e 350 metros. As regiões com relevo do tipo Cuestas Basálticas, compreendendo as cidades de Avaré, Botucatu (BOT) e São Carlos (SCA), representam as áreas com maior altitude (acima de 800 metros).

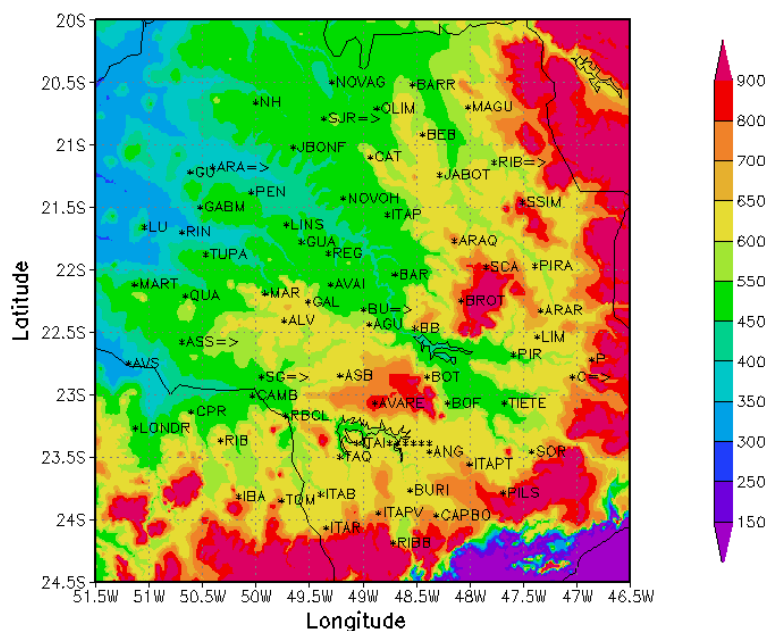


Figura 9 – Unidades geomorfológicas do Estado de São Paulo, caracterizadas pela altitude acima do nível médio do mar.

3.1.3 Base de dados do radar

Os dados de radar foram transformados de formato binário para ASCII, por programas com base Fortran, e visualizados posteriormente em software GRADS (Grid Analysis and Display System). A tarefa CAPPI foi escolhida para neutralizar a contaminação dos dados com os ecos de terrenos.

Os dados foram tratados em um computador do tipo VAX-VMS mod. 4000/1000 e em duas estações de trabalho, uma IBM/RISC e outra DIGITAL/COPAC, todas as máquinas com o sistema operacional UNIX.

Os dados utilizados neste trabalho referem-se ao período de 1994 a 2004, novembro, dezembro, janeiro, fevereiro e março. A Tabela 13 (Apêndice 5), mostra informações climatológicas de médias de chuva acumulada em milímetros, oriundas dos pluviômetros do Departamento de Águas e Energia Elétrica – DAEE, para as cidades de: Arealva, Avaí, Bastos, Bofete, Borborema, Brotas, Campinas, Chavantes, Dois Córregos, Garça, Gavião Peixoto, Guarantã, Guararapes, Iacanga, Ibatinga, Itaporanga, Itararé, Jaú, Óleo, Pardinho, Rinópolis, Rio Claro, Santa Bárbara do Oeste, São Carlos, São Pedro, Tatuí e Tupã, onde podemos observar que os meses citados acima, representam os mais chuvosos do ano, para as cidades localizadas na região central do Estado de São Paulo. Resultado semelhante encontraram Figueiredo e Sugahara (1997), para a cidade de Bauru/SP.

Foram computados 129.117 CAPPIs (Tabela 5), em formato binário, totalizando um volume de 2.816,02 Mbytes. Todos os arquivos binários foram modificados para o formato ASCII, para possibilitar os cálculos para a pesquisa.

3.2 Critérios para processamento dos dados

3.2.1 Os Arquivos CAPPIs

Para se ter certeza que a informação do radar é chuva, descartando possível contaminação por superrefração, foi estabelecido que somente serão computados para acumulação de chuva, os horários que possuísem pelo menos três (03) informações de CAPPI, critério esse baseado na metodologia utilizada operacionalmente no radar, que consiste em uma análise preliminar feita pelo operador do radar, quando uma chuva está se iniciando, no domínio do CAPPI, nessa situação, o operador coleta informações de dois horários e confronta com outros parâmetros do radar. Uma vez constatada a contaminação do dado, a tarefa não será escalonada, sem que os dois arquivos analisados sejam retirados do rol.

Um outro critério utilizado para consistência dos dados consiste na aplicação de distribuição de frequência, em pontos da grade que apresentaram valores superiores aos recomendados pela literatura, eliminando assim os horários contaminados por superrefração.

3.2.2 Escolha da relação Z-R

Para escolher a equação Z-R, que melhor represente a distribuição de chuvas no raio da pesquisa, foram feitos testes na estação meteorológica automática de superfície localizada no campus da Unesp de Botucatu (Lat. 22°51'S, Lon. 48°26'W). Em virtude da manutenção da estação automática não foi computado o ano de 1999. Antes de se iniciar o cálculo da chuva estimada pelo radar é necessário se obter a conversão do valor lido pelo radar, para milímetros de chuva para cada intervalo coletado. Respeitando os critérios citados anteriormente, procurou-se padronizar a equação que relaciona Z e R, da seguinte maneira:

Aplicando-se log na equação (4) temos:

$$10 \times \log Z = 10 \times \log A + 10 \times b \times \log R$$

de (2.1) temos;

$$\text{dBZ} = 10 \times \log A + 10 \times b \times \log R$$

$$\log R = \frac{\text{dBZ} - 10 \times \log A}{10 \times b}$$

$$R = 10^{\left(\frac{\text{dBZ} - 10 \times \log A}{10 \times b}\right)} \quad (5)$$

sendo A e b constantes, dBZ o valor lido pelo radar e R a quantidade de chuva em milímetros.

A melhor equação originada de (5), formará a base desta pesquisa. Para isso foram testadas as relações Z-R de Marshall e Palmer (1948), Jones (1956), Sekhon e Scrivastava (1971), Tokay_1 (1996) para todos os tipos de chuva, Tokay_2 (1996) para as chuvas convectivas, Tokay_3 (1996) para as chuvas estratiformes e Antonio (1998).

Os valores das constantes A e b, das relações Z-R, que serão utilizadas na comparação com a chuva coletada por uma estação automática em Botucatu, que terão como objetivo escolher a relação que apresente menor erro, são apresentados na Tabela 3. Foram atribuídas às relações citadas a condição de um limiar de dBZ (≤ 45), que segundo os dados coletados por Tokay (1996), indica a maioria das chuvas estratiformes e convectivas. Devido à baixa refletividade representar as chuvas muito fracas os valores inferiores a 15 dBZ não foram computado neste trabalho.

Tabela 3 – Valores das constantes das relações Z-R

Nome da relação	Constantes da relação Z-R	
	A	b
Marshall/Palmer	200	1,60
Antonio	236	1,26
Jones	486	1,37
Sekhon	300	1,35
Tokay_1	315	1,20
Tokay_2	139	1,43
Tokay_3	367	1,30

3.3 Validação resultados

3.3.1 Acurácia dos dados

A precisão dos dados é a medida estatística do erro entre as observações ou resultados computados, e os valores verdadeiros (pluviômetros). A precisão absoluta trata-se do erro relacionado com a verdade do dado (chuvas oriundas dos pluviômetros). A precisão relativa é o erro relacionado com o outro ponto de informação (medida do radar). A precisão pode ser expressa em termos do Erro Médio Quadrático (EMQ).

Na estatística o EQM é utilizado para descrever a precisão que abrange tanto os erros aleatórios como os sistemáticos. O quadrado da diferença entre um ponto de teste verdadeiro (pluviômetros) e um ponto de teste estimado (radar), dividido pelo número total de pontos de teste na média aritmética. A raiz quadrada deste valor de teste é a raiz quadrada do erro médio, definida na equação (7), que fornece uma medida característica de erro na mesma unidade das medidas originais (mm). Para quantificar o Erro Quadrático Médio, em termo percentuais a equação (8), denominada de Raiz Quadrada do Erro Relativo Médio (RQERM), será utilizada na comparação entre a chuva estimada pelo radar e a medida por pluviômetro (Pavlyukov, 2002).

A equação (6) normaliza o erro bias e mostra quanto o erro encontra-se entre o ponto com chuva estimada pelo radar (R_{ad}) e a informação de chuva coletada no mesmo ponto por um pluviômetro (P_{luv}). A informação mais importante desse erro é a resposta rápida de como os dados do radar (R_{ad}) estão superestimando (negativo) ou subestimando (positivo) o valor registrado pelo pluviômetro (P_{luv}). O valor de R_{ad} , foi considerado como sendo a média dos cinco pontos (pixels) da matriz mais próximos (vizinhança, Figura 8).

$$F_{bias} = 10 \times \log \left(\frac{P_{luv}}{R_{ad}} \right) \quad (6)$$

$$EQM = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (F_{bias})^2 \right]^{1/2} \quad (7)$$

$$ERM = \frac{EQM}{Pluv} \times 100 \quad (\%) \quad (8)$$

Onde, R_{ad} chuva estimada pelo radar, P_{luv} chuva estimada pelo pluviômetro, RQEM = Raiz Quadrada do Erro Médio e ERM = Erro Relativo Médio.

3.4 Chuva acumulada Global

3.4.1 Acumulação da Refletividade Z

A soma da precipitação ou Chuva Acumulada Global foi calculada para todos os pixels, com a finalidade de se conhecer em qual período do dia ocorre a maior e a menor distribuição da chuva, na região central do Estado de São Paulo. Trata-se de se obter uma informação rápida da distribuição diurna da precipitação, sem a necessidade de utilizar a relação Z-R. Todos os cálculos foram efetuados segundo os critérios já estabelecidos.

3.4.2 Acumulação da Precipitação

A chuva acumulada diária foi, inicialmente, calculada na escala

horária, obedecendo ao critério relativo à quantidade mínima de arquivos, dividindo-se o valor acumulado pela quantidade de arquivos correspondentes, ao intervalo de hora, com o resultado em milímetros (Figura 10). Nessa fase, admite-se que a mesma quantidade de chuva registrada em determinado minuto de hora se manterá até um minuto antes da próxima varredura do radar, esse critério é usado também por um programa operacional instalado no radar de Bauru (para três dias de acumulação de chuva).

A Figura 10 mostra a representação do intervalo de tempo para o cálculo da chuva horária acumulada, em que HH representa a hora de início da chuva, HH+1 o próximo horário, t1, t2...t8 os minutos possíveis dentro da hora e Ra., Rb., Rc., Rd., Re., Rf., Rg. e Rh. as taxas de precipitação, oriundas da relação Z-R.

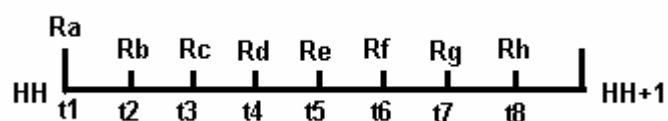


Figura 10 – Intervalo de tempo para o cálculo da chuva acumulada horária. A hora inicial é representada por HH e HH+1 a hora final. Os minutos possíveis dentro da hora (t1, t1...t8) e Ra, Rb...Rh, as taxas de precipitação, para cada intervalo de tempo, segundo a relação Z-R.

A definição de chuva acumulada relaciona a taxa de precipitação R com o intervalo de tempo em que a mesma manteve-se até o próximo minuto em um intervalo de hora, sendo igual à chuva do intervalo em milímetros daquela hora. Sendo assim, antes de se utilizar a equação (5), necessita-se saber o intervalo de tempo entre uma chuva ocorrida em um determinado horário e o minuto seguinte, conforme a equação (9):

$$C_{acum} = \frac{1}{\Delta t} \int R dt = \frac{1}{1hora} [Ra \times \Delta ta + Rb \times \Delta tb + Rc \times \Delta tc + \dots Rh \times \Delta th] \quad (9)$$

onde, C_{acum} é a chuva acumulada em mm, $\Delta ta = t2-t1$, $\Delta tb = t3-t2$... $\Delta th = t_{HH+1}-t8$ e Ra,

Rb...Rh, precipitação no intervalo de tempo correspondente, oriunda da equação (5). Aqui estabeleceu-se o seguinte critério para acumular chuva horária: quando $\Delta th > 30$ minutos, então $\Delta th = 0$ minutos.

Todos os horários foram acumulados e as médias diárias para cada mês do período considerado como chuvoso (Novembro-Março), foram determinados no período de 1994 até 2003. Esses valores foram denominados de média climatológica (mC) do mês. Para se calcular a anomalia de eco foram acumulados os meses do período chuvoso referentes à 2004, o que chamou-se de mês base (mB).

$$Anomalia_eco = \sum_{i=1}^n (mB - mC) \quad (10)$$

em que mC é a média de toda chuva acumulada em cada pixel do radar para um raio de 240 km.

A equação (10) permite analisar a variação da precipitação em um determinado ano. Quando positiva, implica que o mês em estudo teve precipitação acima da média, ou seja, mB é maior do que mC. O mês ficou abaixo da média quando ocorreu o contrário. Para fins de padronização, o mC será atualizado a cada cinco anos, isto quer dizer que os dados de 2004 serão incorporados ao mC em 2009, quando então será feita uma nova média para mC.

3.4.1 Recorde Global de dBZ

Os valores máximos de dBZ foram obtidos de duas maneiras: primeiro, para cada ponto da matriz sem se preocupar com a posição, foram obtidos os valores recordes. Posteriormente foi estabelecido o número de valores de refletividade maior ou igual a 45 dBZ, que segundo Tokay e Short (1996) é um bom limiar para se identificar as chuvas convectivas.

4.0 Resultados e Discussões

4.1 Diagnóstico dos de ecos de radar na região central do Estado de São Paulo

4.1.1 Ciclo diurno da precipitação

Para qualquer atividade humana, principalmente na agricultura é importante conhecer o ciclo diurno da precipitação para uma região onde se queira implementar uma atividade agrícola. A variação diurna da refletividade permite que se conheça o período do dia em que a precipitação alcança os valores máximos e mínimos, independente da relação Z-R a ser utilizada.

A Figura 11a apresenta, a soma horária média do valor de Z ($\times 10^5$) no período de 1994/2004. Como se pode observar na Figura 11a, os meses de Novembro e Março são os que têm os menores valores de Z em todos os horários do dia. O mês de março apresenta valores de chuva superiores ao de novembro em quase todos os horários do dia,

exceto nos períodos da madrugada e manhã onde as curvas dos meses de março e novembro, praticamente coincidem. O início de crescimento de Z para esses meses, inicia a partir das 13 horas, alcançando o pico máximo das 19 às 20 horas. Entre 21 e 22 horas Z começa a decrescer, atingindo os menores valores das 10 às 11 horas.

Os meses de dezembro, janeiro e fevereiro se destacam como os mais chuvosos, com as curvas quase coincidentes em praticamente todo o dia. No período da manhã constata-se um ligeiro incremento no mês de fevereiro em relação ao mês de janeiro. O mês de dezembro aparece como o terceiro mês mais chuvoso do período, superando os meses de novembro e março. O início de crescimento de Z para dezembro, janeiro e fevereiro, inicia a partir das 12 horas, alcançando o pico máximo das 18 às 21 horas. A partir das 22 horas Z começa a decrescer, atingindo os menores valores das 09 às 11 horas.

Na Figura 11b temos as porcentagens de chuva nos períodos madrugada (entre 1 e 6 horas), manhã (entre 7 e 12 horas), tarde (entre 13 e 18 horas) e noite (entre 19 e 24 horas), obtidas dos valores médios de Z acumulado, para cada pixel do raio de 240 km em torno de Bauru. De acordo com a Figura 11b, o período de menor ocorrência de chuva é o da manhã, com cerca de 18% de toda a precipitação do período chuvoso (Novembro-março) de 1994-2004. Os períodos madrugada e noite contribuem com praticamente o mesmo percentual: 26% e 25% respectivamente, implicando em cerca de 50% de toda a chuva ocorrida na região central do Estado de São Paulo.

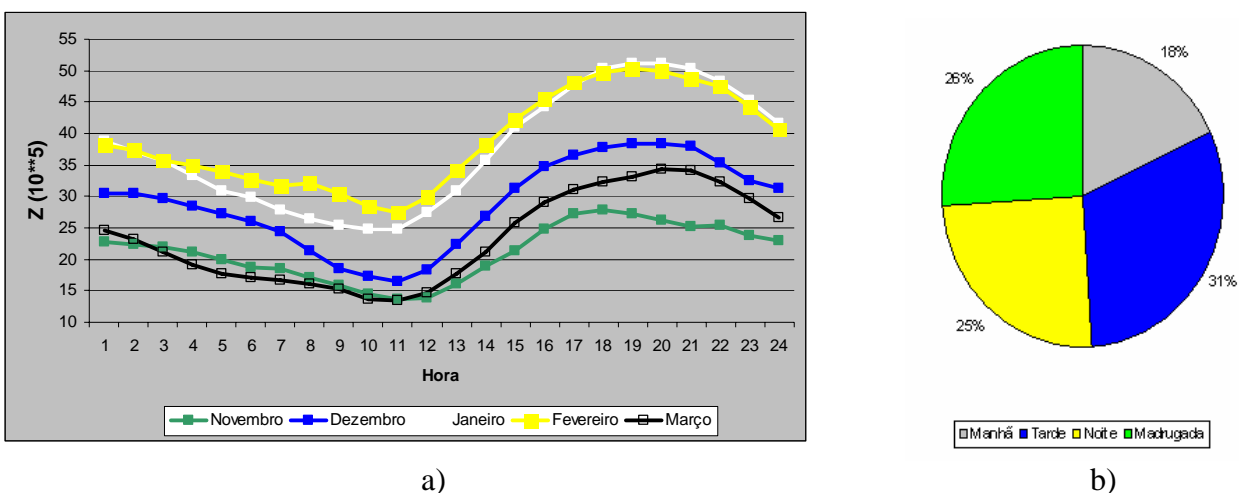


Figura 11 – Variação horária de Z em um raio de 240 km em torno de Bauru/SP, para os meses mais chuvosos (a) e a porcentagem acumulada de Z, nos períodos madrugada, manhã, tarde e noite (b).

A Figura 12 apresenta a variação horária dos recordes de dBZ, em todos os pixels, no raio de 240 km de Bauru, no período de novembro a março de 1994 a 2004. Apesar do recorde histórico (68.5 dBZ) haver ocorrido no período da madrugada, é nos períodos tarde e noite onde se encontra a maior concentração dos dBZ recordes, concordando com os períodos de maior intensidade de Z. A maior parte desses ecos, estão relacionados a precipitação em forma de granizo, sem presença de precipitação na forma líquida, devido ao alto valor de refletividade (Dye e Martner, 1978).

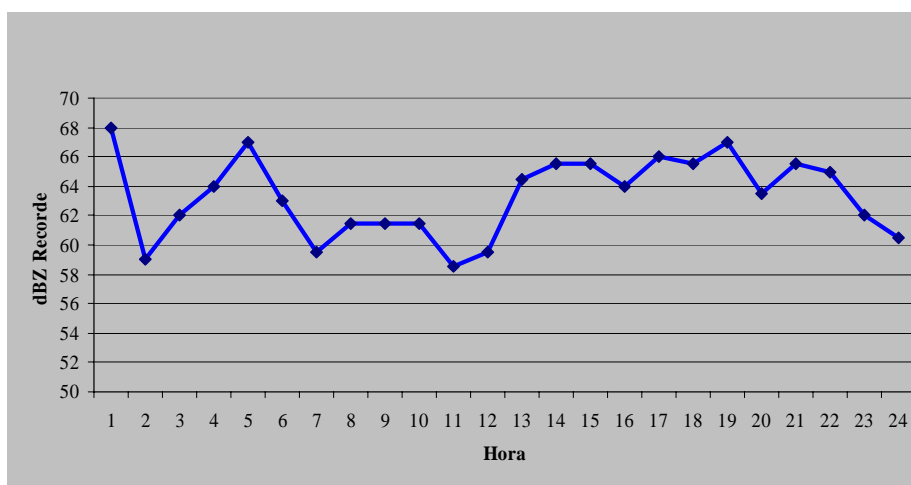


Figura 12 – Variação horária dos dBZ Recordes, em um raio de 240 km em torno de Bauru/SP.

4.1.2 Distribuição de Frequência dos valores máximos de dBZ

A frequência diária dos valores máximos de dBZ, calculada para todos os pixels, para cada horário dos meses chuvosos, entre 1994 e 2004 é apresentada na Tabela 4. A cada CAPPI computado foi escolhido o maior valor de dBZ, da matriz de 480 x 480 pontos, sem interessar o local de ocorrência. Os valores máximos encontrados abaixo de 45 dBZ, correspondem a cerca de 39% de toda a gama dos dados (a partir de 15 dBZ). A frequência dos ecos superiores a 45 dBZ correspondem a cerca de 61% dos dados utilizados.

Nos dados apresentados na Tabela 4 temos uma participação dos ecos máximos acima de 45 dBZ, correspondendo a mais da metade dos máximos ocorridos, logo, valores de ecos com esses valores, não serão computados para acumulação da chuva, porque ecos a partir deste patamar estão associados a precipitação com granizo ou gelo na nuvem, o que compromete a qualidade da estimativa da chuva, uma vez que, a relação Z-R foi concebida para a precipitação na forma líquida.

Tabela 4 – Frequência dos valores máximos de dBZ, para todos os CAPPI, nos meses chuvosos para um raio de 240 km em torno de Bauru/SP (2004-1994).

Intervalo (dBz)	Frequência (%)
15-20	0,8
21-25	1,0
26-30	2,2
31-35	4,3
36-40	10,6
41-45	19,6
46-50	30,7
51-55	20,5
56-60	9,1
>60	1,2

4.1.3 Número de dias chuvosos

A Tabela 5 mostra o número médio de dias com chuva (NDC), na região central do Estado de São Paulo, obtido das informações de ecos do radar, em um raio

de 240 km, em torno do radar. Para realizar este levantamento foi admitido, além dos critérios citados anteriormente (3.4.2), a condição de que será considerado dia com chuva (NDC), aquele que apresentar pelo menos quatro horários consecutivos com $\text{eco} > 45 \text{ dBZ}$. Na Tabela 5 temos o percentual de NDC, que evidencia janeiro como sendo o mês de maior percentual de NDC, ou seja, em média no mês de janeiro ocorrem chuvas no raio da pesquisa (240 km), em cerca de 94% dos dias do mês. O mês que apresenta menor percentual de NDC é novembro, com 77%. O mês de março apesar de não ser o mais chuvoso, como se viu anteriormente, apresenta o segundo maior percentual de NDC (90%), seguido pelos meses de dezembro (87%) e fevereiro (86%). Para realizar toda a pesquisa foram utilizados 128.000 CAPPIS, que atendiam aos critérios estabelecidos na metodologia.

Levando em consideração os critérios estabelecidos em 3.4.2, os dados acima demonstram que o radar meteorológico de Bauru/SP detecta chuvas em praticamente todos os dias dos meses chuvosos (87%), dentro da área estudada (240 km). Esta informação tem importância fundamental para programação de manutenção preventiva do equipamento, uma vez que, é o período de maior intensidade operacional, onde o radar não deve parar porque perderá muita informação, mas também é o período que mais necessita de cuidados preventivos, com equipe de manutenção de prontidão.

Tabela 5 – Total médio do número de dias com chuva (NDC), percentual de NDC e número de CAPPIS (NC), utilizados em todos os meses chuvosos de 2004-1994.

	NDC	NDC(%)	NC
Novembro	23	77	24.970
Dezembro	27	87	27.259
Janeiro	29	94	25.377
Fevereiro	24	86	23.966
Março	28	90	27.545
Média	26	87	
Total			129.117

4.2 Cálculo dos erros – Escolha da relação Z-R

A cidade de Botucatu encontra-se a cerca de 90 km a sudeste do radar de Bauru. Essa cidade foi escolhida para encontrar a melhor equação Z-R, já que nesse local opera uma estação automática desde 1998, contendo informações de pluviosidade a cada cinco minutos, o que permitiu a comparação entre a ocorrência de chuva, registrada em um pluviômetro de báscula.

Foram computadas as médias de quatro pontos vizinhos aos das coordenadas da estação, para a acumulação de chuva, e somente o ponto central (coordenadas da estação), para computação dos dBZ, no mesmo período em que foram analisados os erros. A Tabela 6 quantifica os erros oriundos das relações Z-R, listadas na Tabela 3, utilizando as equações 6, 7 e 8, com os dados dos meses de janeiro de 1998 a 2004.

Pode-se observar na Tabela 6 que a média da chuva acumulada para a cidade de Botucatu, apresentou erros mais significativos nas relações: Jones (1956) e Tok_1 (Tokay e Short, 1996) com Erros Relativos Médios (ERM) de 2,3% e 2,9% respectivamente. As demais relações apresentaram menores erros, entre 0,6% e 1,0%. Analisando-se ainda na Tabela 6, pode-se reduzir para três relações, por apresentarem os menores ERM, no caso as relações de Mpalmer, Antonio e Sekhon, o que nos leva a escolha de qualquer uma dessas para análises posteriores. Portanto, a partir será foi utilizada a relação de Marshall Palmer (MPalmer), por ser esta a relação Z-R mais difundida e mais utilizada em meteorologia com radar.

Tabela 6 – Valores dos Erros Quadráticos Médios (EQM) e Erro Relativo Médio (ERM) calculados das relações Z-R. Janeiro de 1998-2004 - (Exceto 1999)

	EQM(mm)	ERM(%)
Mpalmer	1,4	0,6
Antonio	1,3	0,6
Jones	3,4	2,3
Sekhon	1,3	0,6
Tok_1	4,6	2,9
Tok_2	1,7	1,0
Tok_3	1,5	0,8

4.3 Chuva acumulada para o município de Botucatu

Utilizando a relação Z-R de Marshall/Palmer, foram acumuladas chuvas (mm), para o município de Botucatu, representado pela média de cinco pontos vizinhos da latitude da estação automática. A tabela 7 apresenta os valores de chuva mensal acumulada para os meses de janeiro de 1998-2004 (exceto 1999). Podemos observar que dos seis anos analisados, em quatro os valores estimados pelo radar subestimaram os valores do pluviômetro, enquanto que, nos dois anos restantes, o radar superestimou os valores de chuva acumulada. Essas discrepâncias são suavizadas quando observamos os valores das médias do período, onde a diferença entre o radar e o pluviômetro fica em torno de 5%.

Tabela 7 – Chuva mensal acumulada estimada pelo radar e medida por pluviômetro de Janeiro de 1998-2004 (Exceto 1999), em Botucatu/SP

Ano	Radar	Pluviômetro
1998	58,3	62,9
2000	181,8	202,6
2001	157,4	275,1
2002	209,5	166,9
2003	295,3	338,8
2004	250,8	176,7
Média	192,2	203,8

4.4 Aspectos dos ecos de radar para a cidade de Botucatu

A seguir serão apresentados alguns aspectos da cidade de Botucatu, considerando-se as medições de ecos do radar de Bauru. Para os cálculos da distribuição de dBZ, foram considerados os valores a partir de 15 dBZ para todos os meses do período chuvoso (novembro a março), desde que para cada horário houvesse pelo menos três arquivos.

A Tabela 8 apresenta a distribuição de frequência de dBZ, na cidade de Botucatu em todos os meses do período chuvoso, totalizando 9.015 eventos computados. De acordo com os dados da Tabela 8 pode-se observar uma maior concentração dos ecos no intervalo entre 15 dBZ e 20 dBZ, seguidos pelos intervalos entre 21-25 dBZ e 26-30 dBZ. De

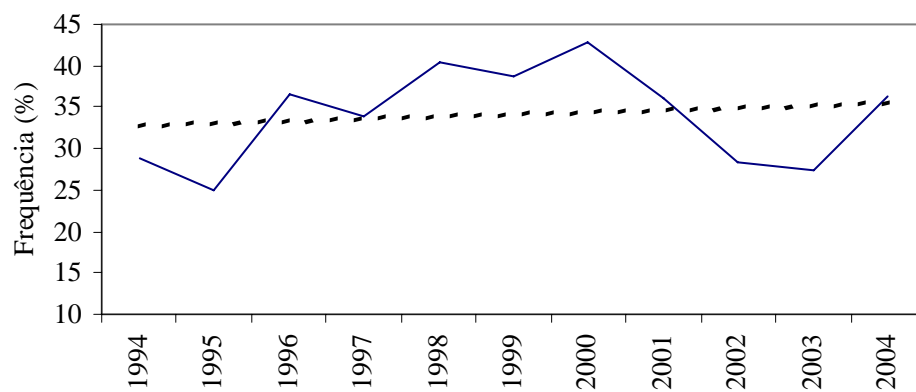
maneira geral, a maior concentração dos ecos, ou seja, cerca de 85% dos ecos precipitantes no município de Botucatu, estavam situados entre 15 dBZ e 30 dBZ, o que segundo Falconer (1984), corresponde ao PIV 1, com taxa de 2,5 mm/h, qualificada com chuva de intensidade fraca. Ainda de acordo com Falconer (1984), a distribuição de ecos para o município de Botucatu apresenta um percentual de 13,5% dos ecos entre 31 dBZ e 40 dBZ, correspondentes ao PIV 2, com taxa entre 2,5 – 12,7 mm/h, qualificada como moderada e o restante, menos do que 2% relacionados com o PIV 3, com taxa entre 12,7-24,0 mm/h.

Tabela 8 – Distribuição da frequência de ecos durante os meses do período chuvoso (novembro-março) de 1994 - 2004, na cidade de Botucatu (recorde 52 dBZ)

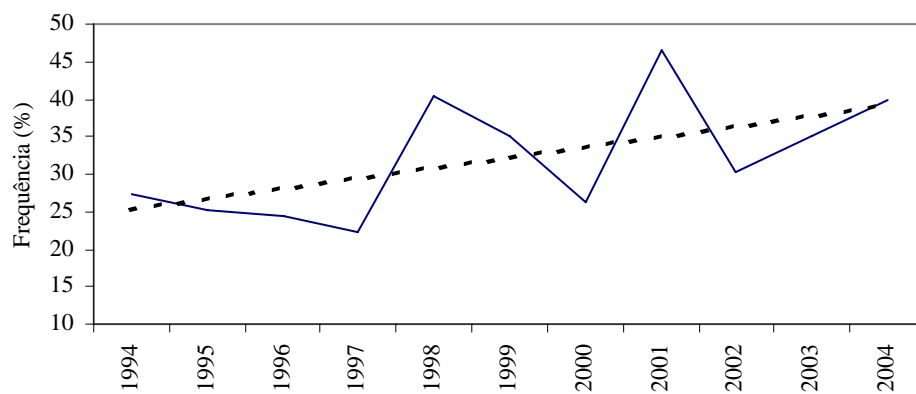
Intervalo (dBZ)	Número de eventos	Porcentagem (%)
15-20	3.343	37,0
21-25	2.501	27,5
26-30	1.835	20,5
31-35	957	10,5
36-40	269	3,0
41-45	96	1,0
46-50	12	0,4
>50	2	0,1
Total	9015	100.0

4.4.1 A evolução dos ecos de radar, durante o período de 1994-2004 para a cidade de Botucatu

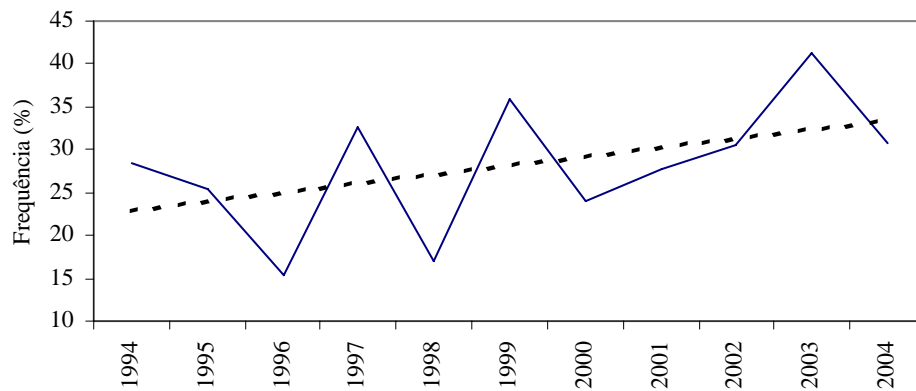
Usando os mesmos critérios da seção anterior, foram computados os ecos de radar para a cidade de Botucatu, durante o período de 1994-2004, para o período chuvoso. A Figura 13 mostra a evolução da distribuição dos ecos para Botucatu, para o intervalo entre 15 e 20 dBZ e a tendência (linha pontilhada). Conforme já vimos este intervalo corresponde a 37% dos ecos registrados durante todo o período chuvoso, na cidade de Botucatu. O mês de novembro (Figura 13a), apresenta uma ligeira tendência de aumento, durante o período analisado, semelhante aos meses de dezembro e janeiro (Figura 13b e 13c) apresentam uma tendência de crescimento da frequência de ecos entre 15 e 20 dBZ. No mês de janeiro, no entanto nota-se que a inclinação da linha de tendência é ligeiramente superior às dos meses de novembro e dezembro (Figura 12a e 12b). Nos meses de fevereiro e março a tendência é de redução de ecos entre 15 e 20 dBZ.



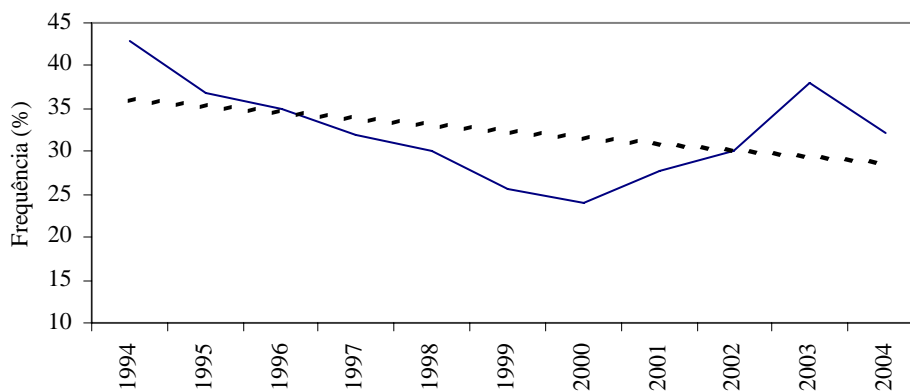
a)



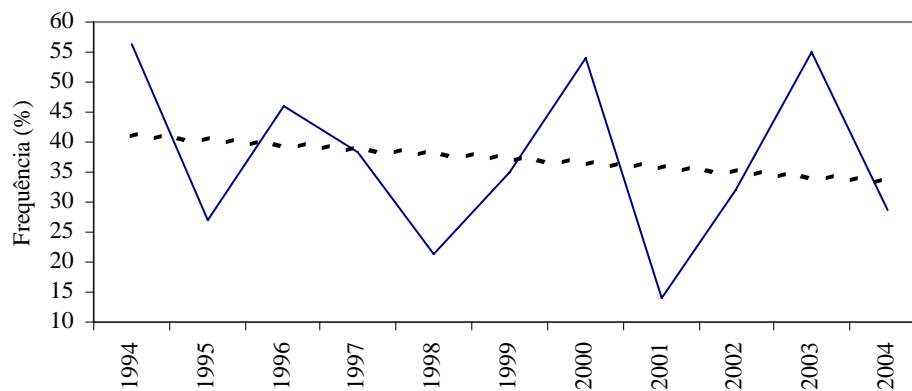
b)



c)



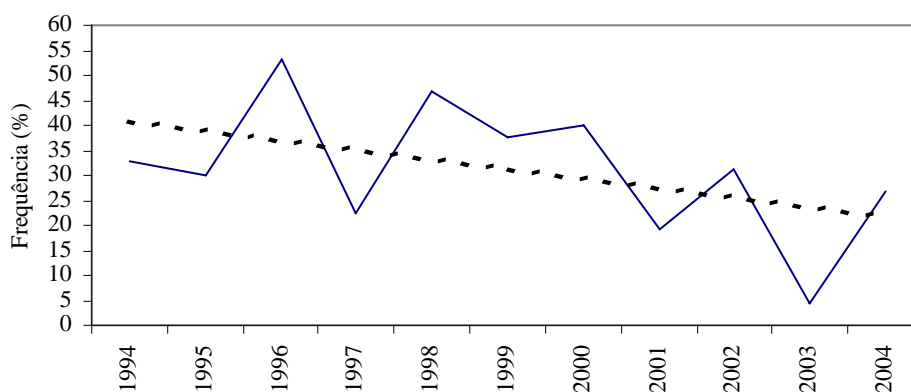
d)



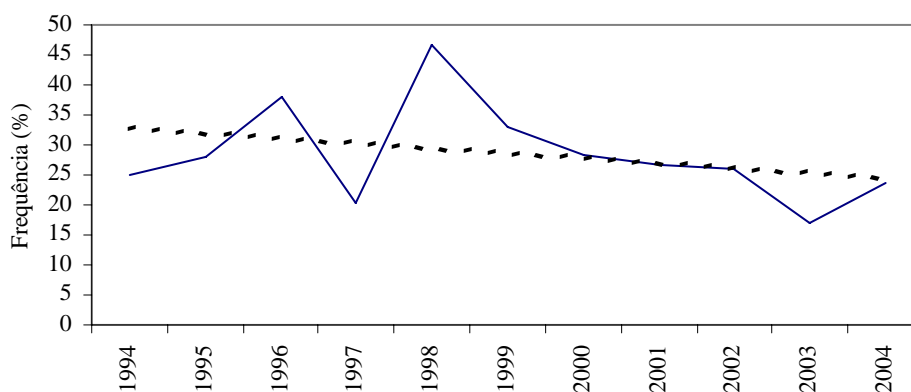
e)

Figura 13 – Frequência de ecos (%) entre 15-20 dBZ para a cidade de Botucatu durante o período de 1994-2004, nos meses chuvosos: a) novembro, b) dezembro, c) janeiro, d) fevereiro, e) março

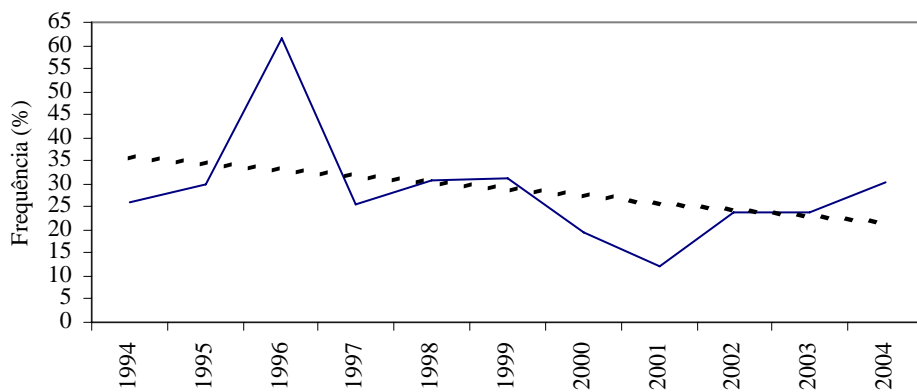
O intervalo de ecos de radar entre 21 e 25 dBZ, representa cerca de 27% das ocorrências na cidade de Botucatu. Nas Figuras 14a, 14b e 14c, para os meses de novembro à janeiro (1994-2004), observa-se a tendência de diminuição das frequências com o passar dos anos. Por outro lado, nos meses de fevereiro e março, a tendência aponta para um ligeiro incremento das frequências.



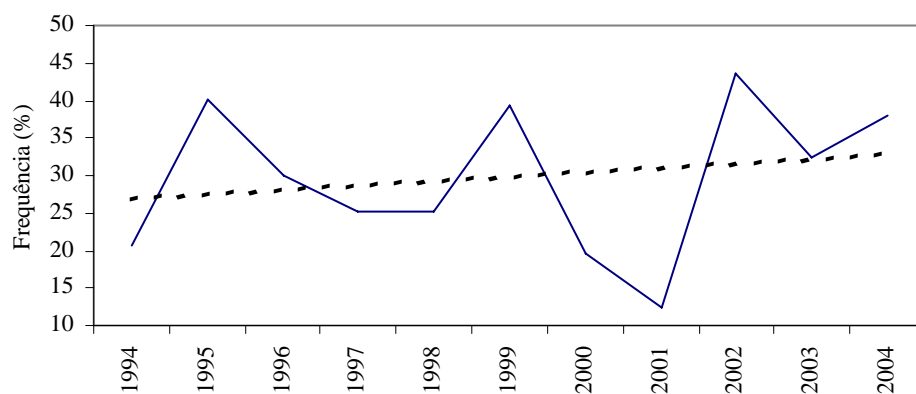
a)



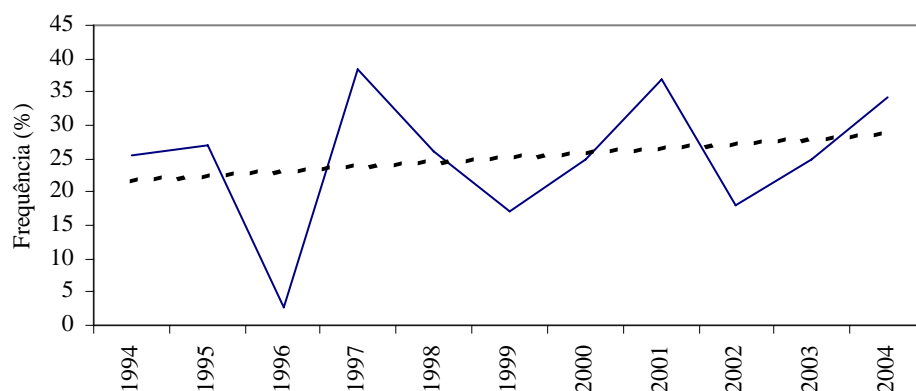
b)



c)



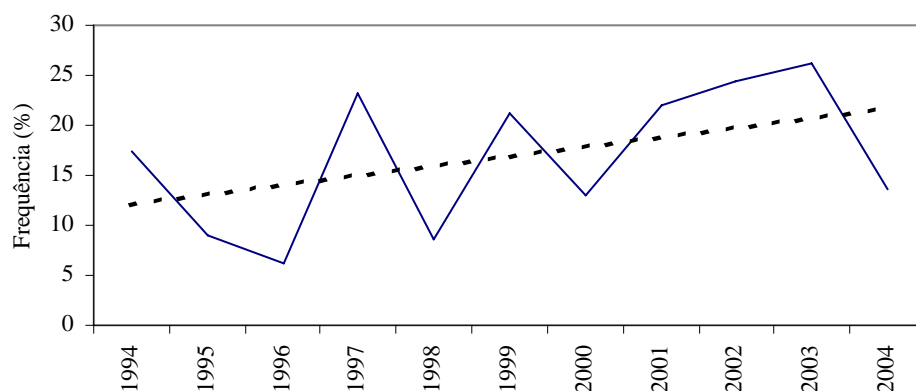
d)



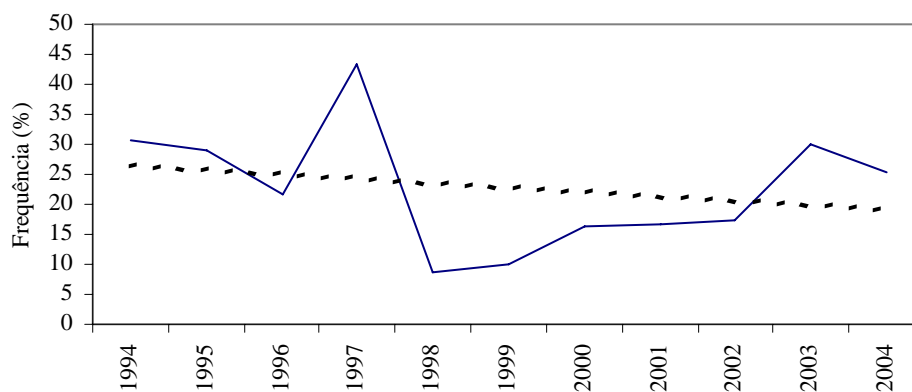
e)

Figura 14 – Frequência de ecos (%) entre 21-25 dBZ para a cidade de Botucatu durante o período de 1994-2004, nos meses chuvosos: a) novembro, b) dezembro, c) janeiro, d) fevereiro, e) março

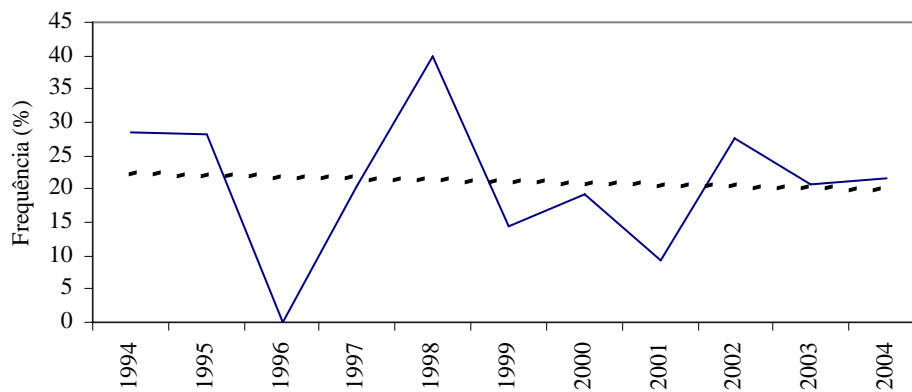
O intervalo de ecos de radar entre 26 e 30 dBZ, representa 20,5% das ocorrências na cidade de Botucatu. Nas Figuras 15a e 15e, para os meses de novembro e março, a linha de tendência sinaliza para aumento dos ecos entre 1994 e 2004. Por outro lado, nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro (Figuras 15b, 15c e 15d), a tendência é de diminuição dos ecos no intervalo citado.



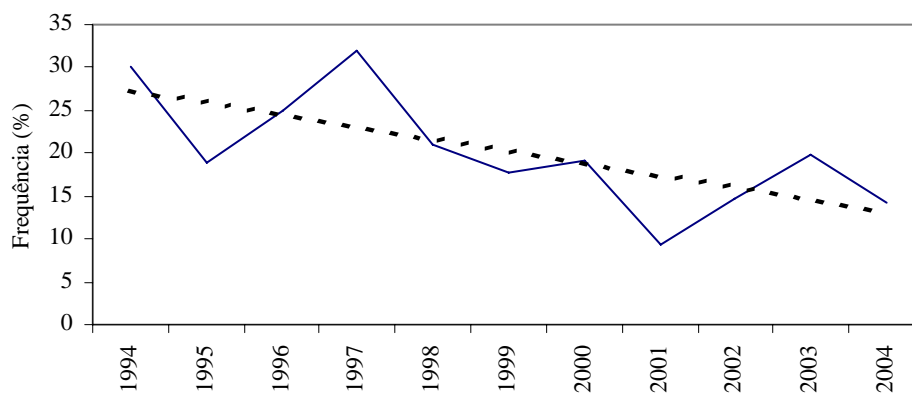
a)



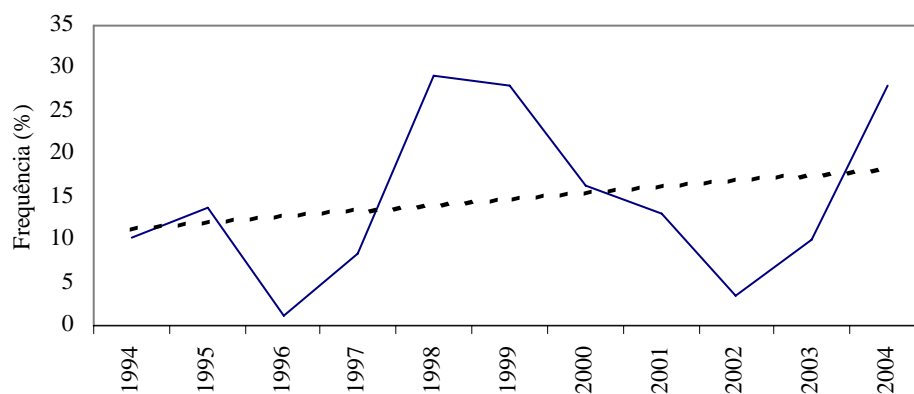
b)



c)



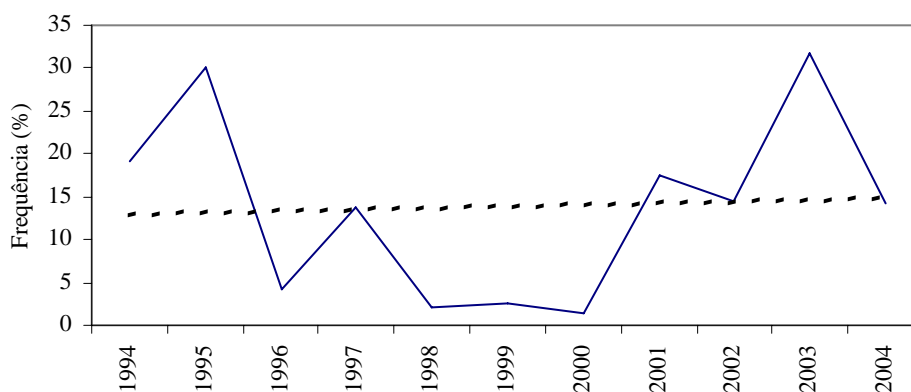
d)



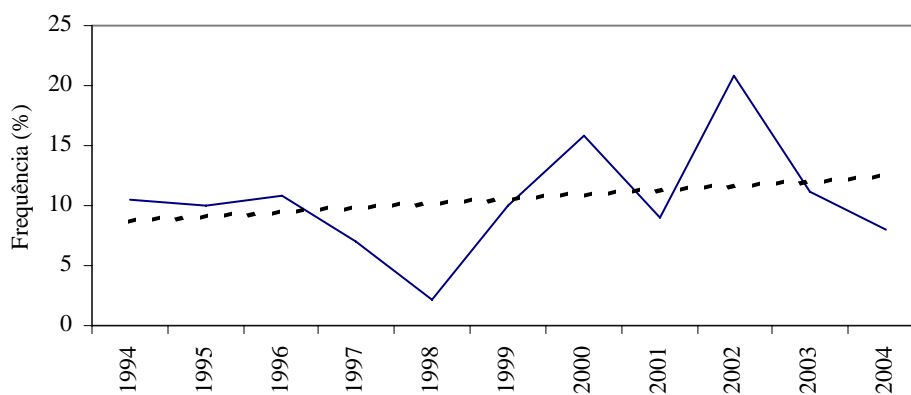
e)

Figura 15 – Frequência de ecos (%) entre 26-30 dBZ para a cidade de Botucatu durante o período de 1994-2004, nos meses chuvosos: a) novembro, b) dezembro, c) janeiro, d) fevereiro, e) março

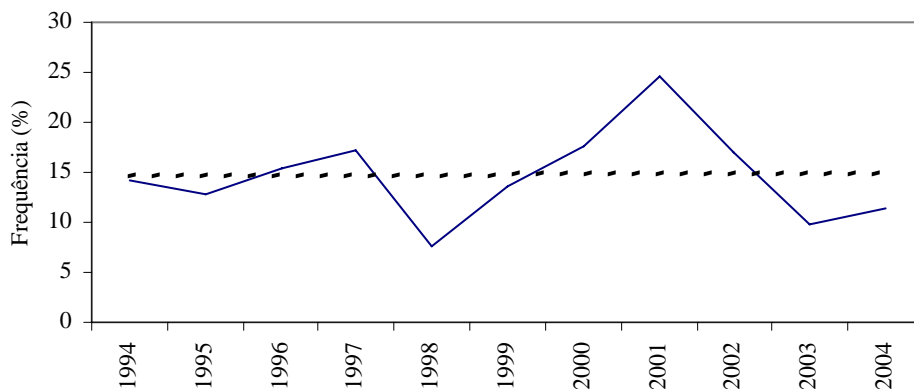
O intervalo de ecos de radar entre 31 e 35 dBZ representa 10,5% das ocorrências na cidade de Botucatu. As Figuras 16a, 16b e 16d mostram a tendência dos ecos, nos meses de novembro, dezembro e fevereiro, de 1994 à 2004, indicando uma tendência de aumento dos ecos neste intervalo. O mês de janeiro (Figura 16c), se mantém sem alteração no período de 1994-2004, enquanto que no mês de março a linha de tendência mostra uma diminuição dos ecos no decorrer do período citado.



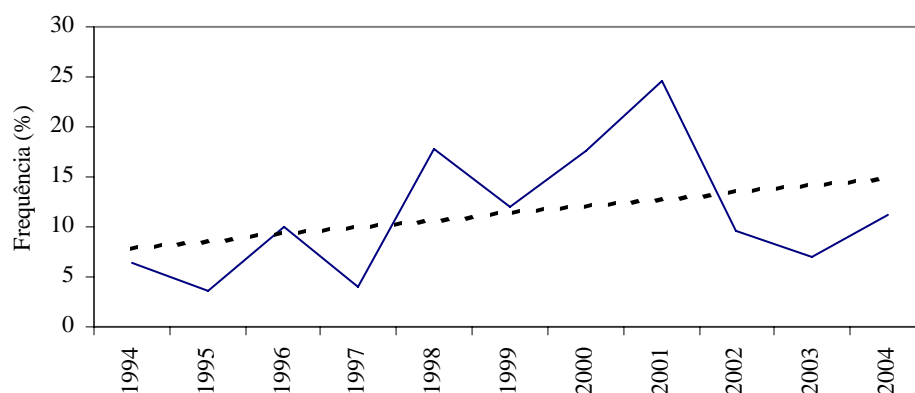
a)



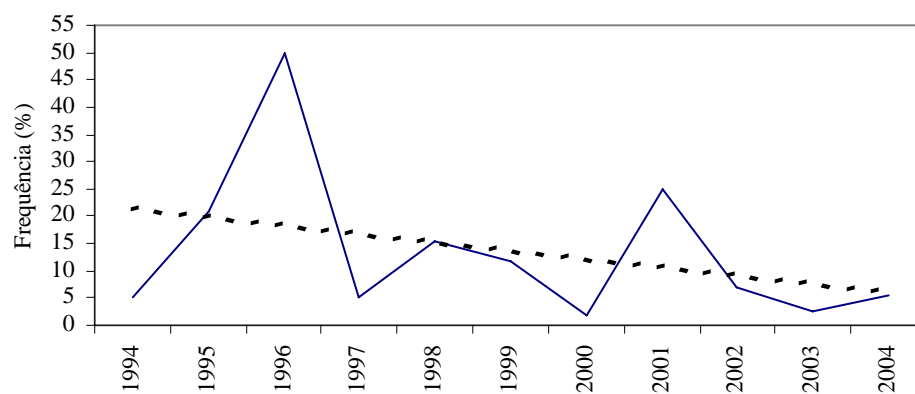
b)



c)



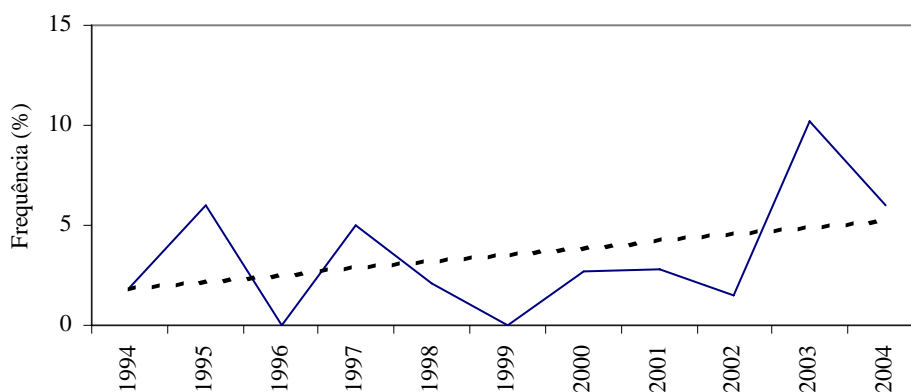
d)



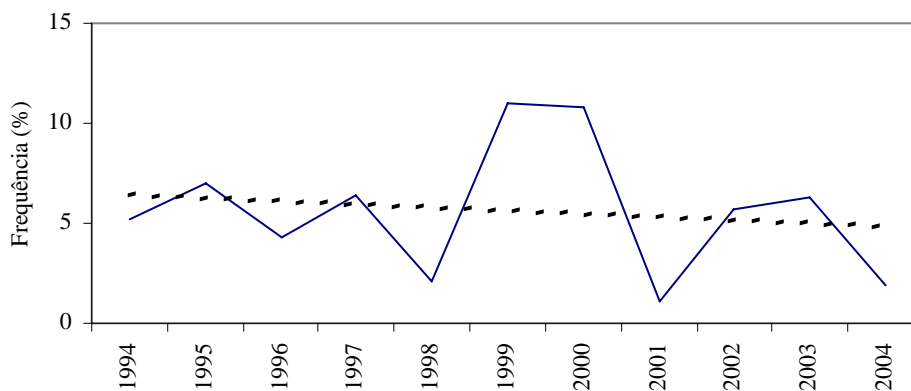
e)

Figura 16 – Frequência de ecos (%) entre 31-35 dBZ para a cidade de Botucatu durante o período de 1994-2004, nos meses chuvosos: a) novembro, b) dezembro, c) janeiro, d) fevereiro, e) março

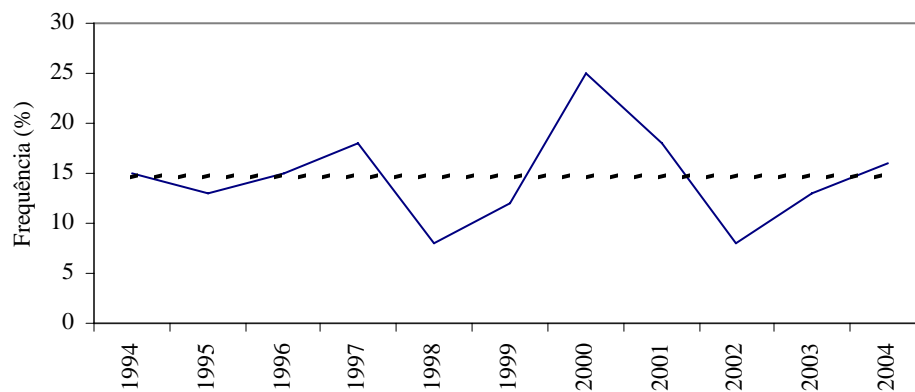
O intervalo de ecos de radar entre 36 e 40 dBZ, representa 3% das ocorrências na cidade de Botucatu. As Figuras 17a, 17d, 17e correspondem aos meses de novembro, fevereiro e março mostram a tendência de aumento dos ecos entre 36 e 40 dBZ, de 1994 à 2004, enquanto que para o mês de dezembro e janeiro (Figura 17b e 17c) a tendência manteve-se nula, indicando pouca ou nenhuma mudança nesse intervalo de dBZ.



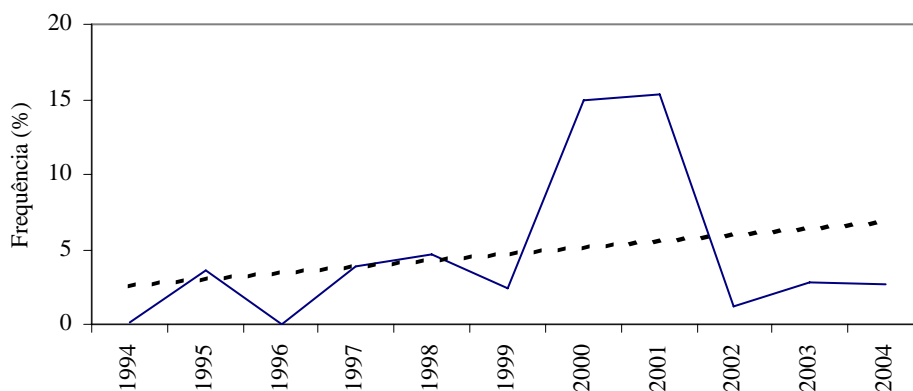
a)



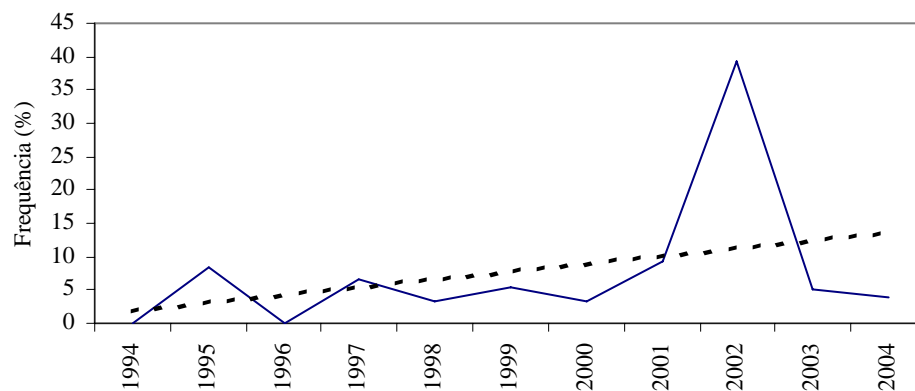
b)



c)



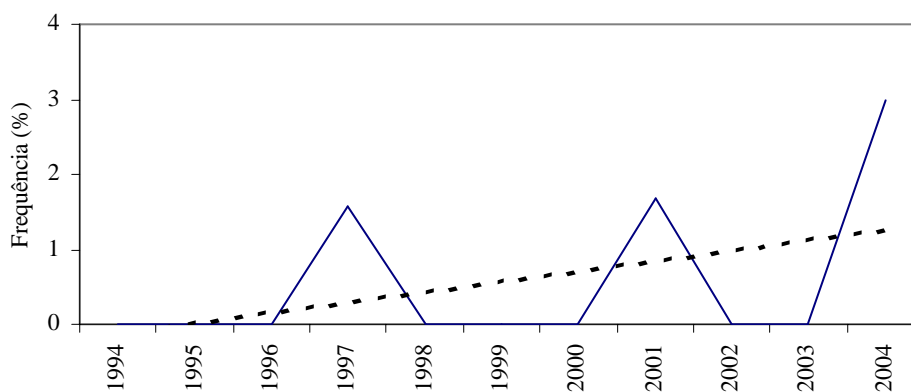
d)



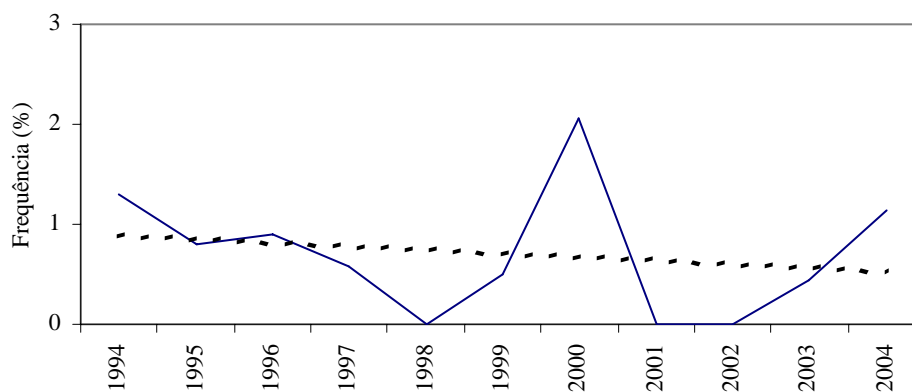
e)

Figura 17 – Frequência de ecos (%) entre 36-40 dBZ para a cidade de Botucatu durante o período de 1994-2004, nos meses chuvosos: a) novembro, b) dezembro, c) janeiro, d) fevereiro, e) março

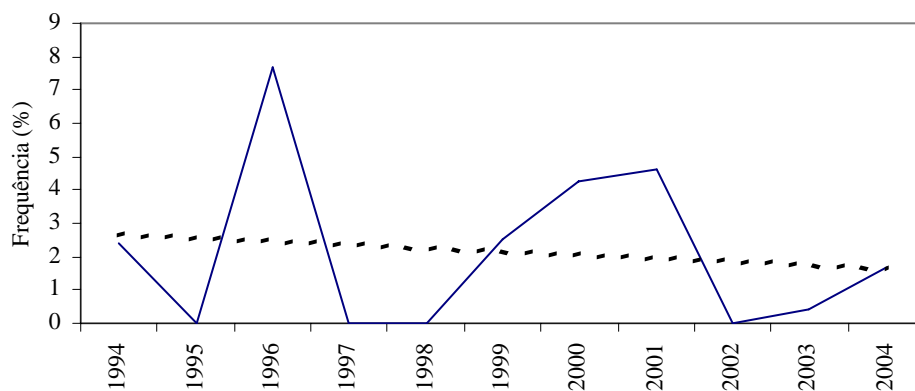
O intervalo de ecos de radar entre 41 e 45 dBZ, representa 1% das ocorrências na cidade de Botucatu. As Figuras 18a, e 18d, correspondendo aos meses de novembro e fevereiro, mostram a tendência de aumento dos ecos entre 41 e 45 dBZ, de 1994 à 2004, enquanto que para os meses de dezembro (Figura 18b) e janeiro (Figura 18c) a tendência dos ecos nesse intervalo aponta para pouca ou nenhuma alteração no decorrer dos 11 anos, analisados para a cidade de Botucatu.



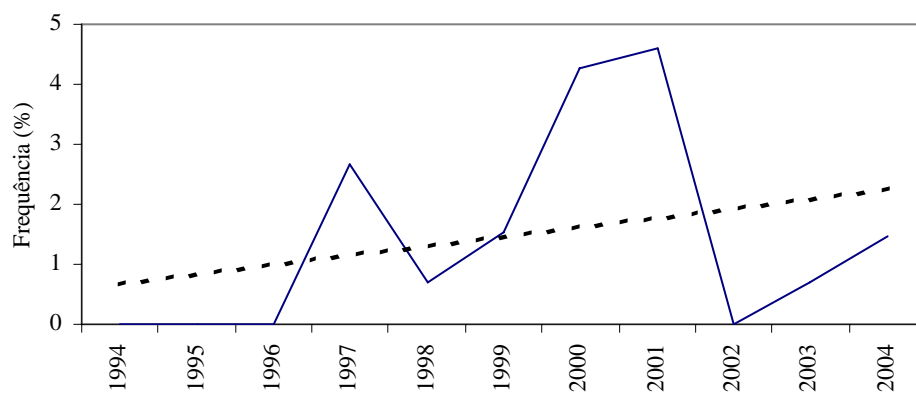
a)



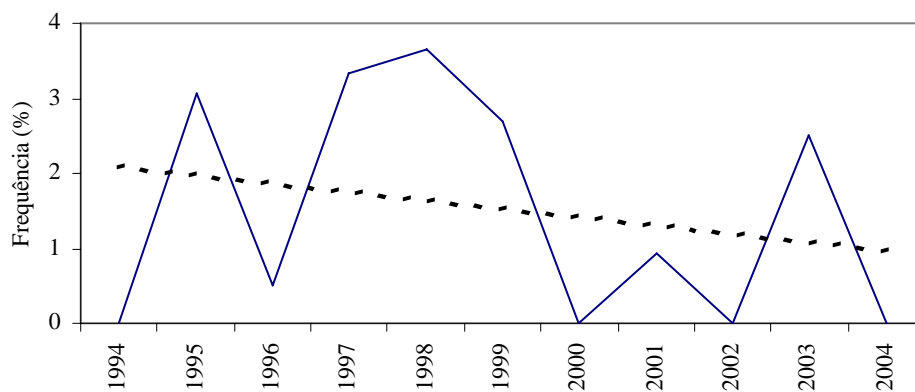
b)



c)



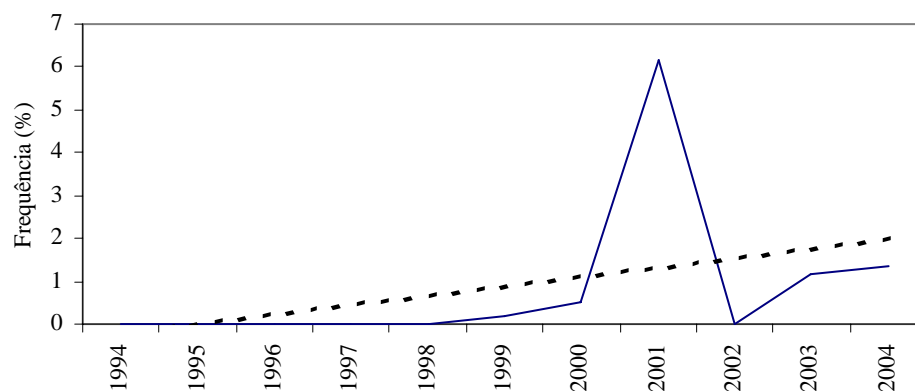
d)



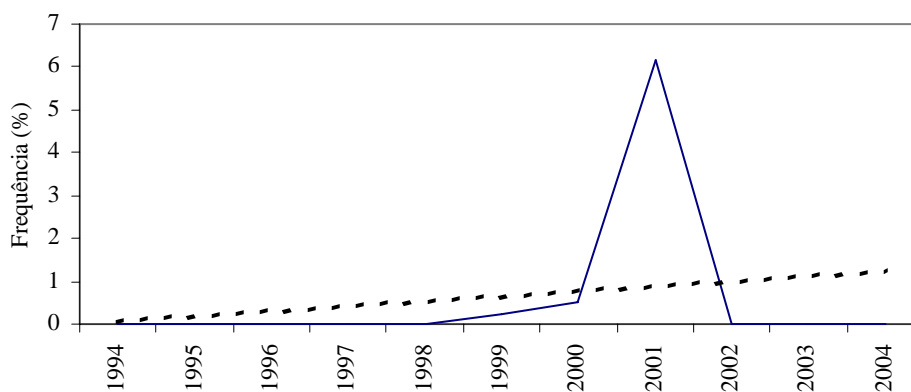
e)

Figura 18 – Frequência de ecos (%) entre 41-45 dBZ para a cidade de Botucatu durante o período de 1994-2004, nos meses chuvosos: a) novembro, b) dezembro, c) janeiro, d) fevereiro, e) março

O intervalo de ecos de radar entre 46 e 50 dBZ representa apenas 0,4% das ocorrências na cidade de Botucatu. As Figuras 19a e 19b, correspondem aos meses de janeiro e fevereiro e mostram tendência de aumento no período de 1994 à 2004, enquanto que o mês de março apresenta tendência de diminuição dos ecos nesse intervalo de dBZ. Os meses de fevereiro e março não foram avaliados devido à baixa quantidade de ecos nesse intervalo.



a)



b)

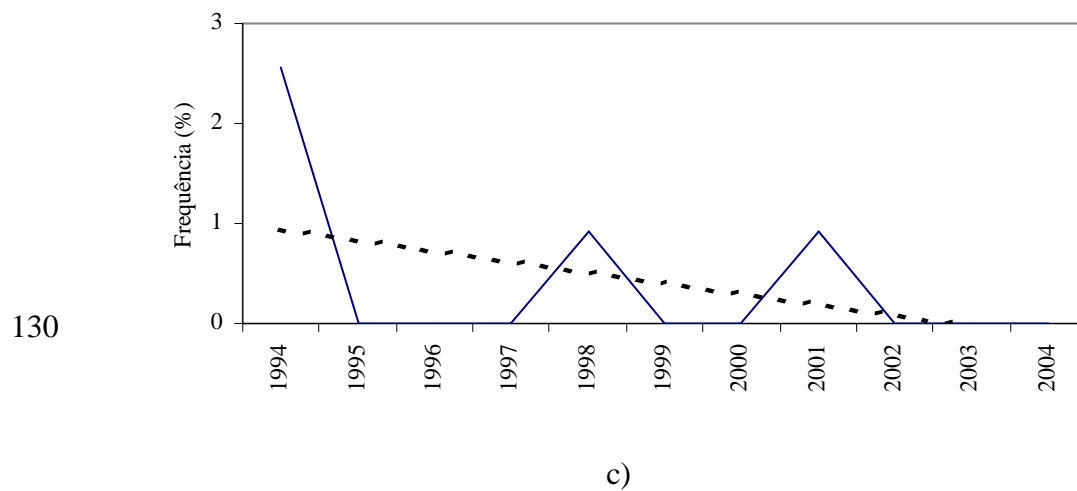


Figura 19 – Frequência de ecos (%) entre 46-50 dBZ para a cidade de Botucatu durante o período de 1994-2004, nos meses chuvosos: a) janeiro, b) fevereiro e c) março

4.4 Mapeamento das Tempestades na região central do Estado de São Paulo

Para representar a intensidade do eco com as tempestades (chuvas fortes), foi considerado o limiar de 45 dBZ, o que corresponde ao PIV 3 (Falconer, 1984), ou seja, chuva com intensidade de até 24 mm/h, classificada como forte, segundo a Tabela 1.

A seguir serão apresentados os campos de ecos de radar, com informações contendo o número de ocorrências de dBZ ≥ 45 , chuva acumulada média e anomalia de chuva. O significado das siglas inseridas nas Figuras, representam cidades do Estado de São Paulo que estão listadas no Anexo 1. Foi convencionado o símbolo ($=>$), para representar as cidades que possuem aeroportos.

A Figura 20 mostra o número de ocorrência dos dBZ (≥ 45) no raio de 240 km, no mês de novembro, durante o período 1994-2004. Nessa figura, pode-se observar que em grande parte das regiões aparecem entre 12 e 20 ecos, especialmente ao redor do Radar, em um raio de cerca de 100 km.

Dois extremos bem definidos podem ser observados na Figura 19: a região sul do Estado e a região de Campinas (C). No sul do Estado, aparece a região com menor número de ocorrências de ecos ≥ 45 dBZ (até 9), compreendendo as cidades de: Itaberá (ITAB). Itararé (ITAR), Angatuba (ANG), Pilar do Sul (PILS) e Capão Bonito (CAPBO). Na região de Campinas (C), ocorre o núcleo de valor máximo de toda a grade em estudo (>40) para o mês de novembro.

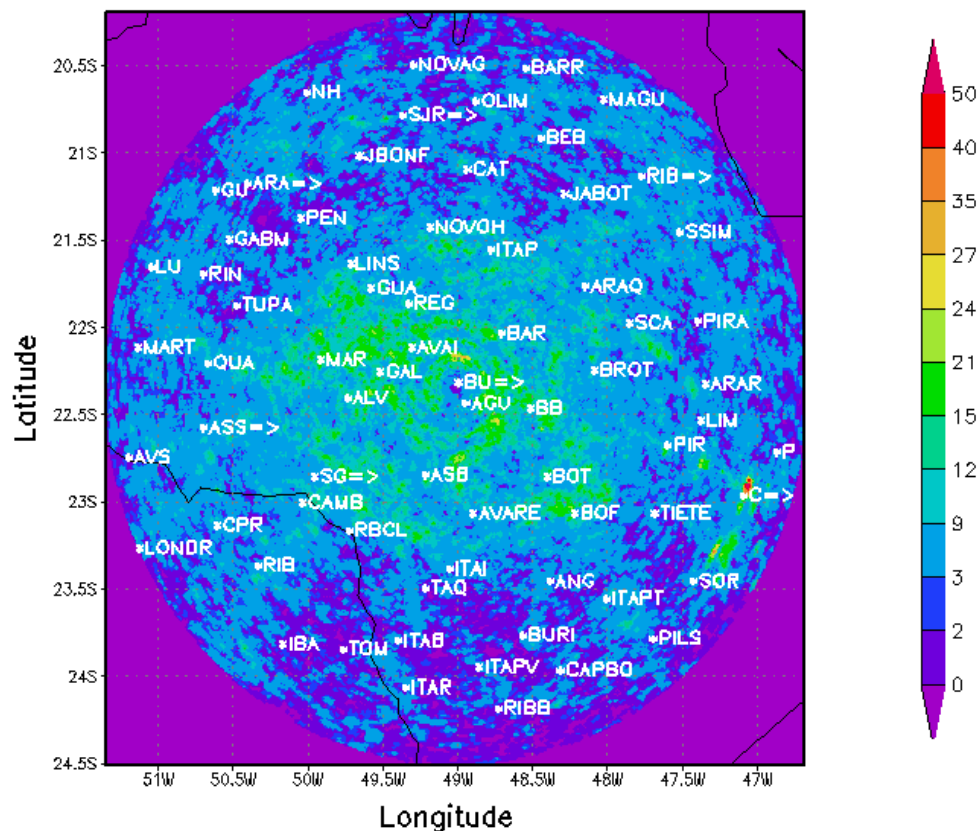


Figura 20 – Número de ocorrências de ecos ≥ 45 dBZ, no mês de novembro, no período de 1994-2004, em um raio de 240 km em torno de Bauru/SP.

O mês de dezembro é apresentado na Figura 21, onde os ecos ≥ 45 dBZ têm uma abrangência maior em torno do radar, com frequência entre 9 e 21, predominando a maioria das localidades situadas próximas a Marília (MAR), Guarantã (GUA), Botucatu (BOT) e Brotas (BROT). Alguns pequenos núcleos com frequências de ecos entre 21 e 24, podem ser observados nas proximidades de Avaré, Barra Bonita (BB), Campinas (C) e Araraquara (ARAQ). As menores frequência de ecos estão localizadas na região sul, com valores entre 3 e 12 nas cidades de: Itaberá (ITAB), Itapeva (ITAPV) e Ribeirão Branco (RIBB); na região oeste, envolvendo os municípios de: Rinópolis (RIN), Tupã e Martinópolis (MART).

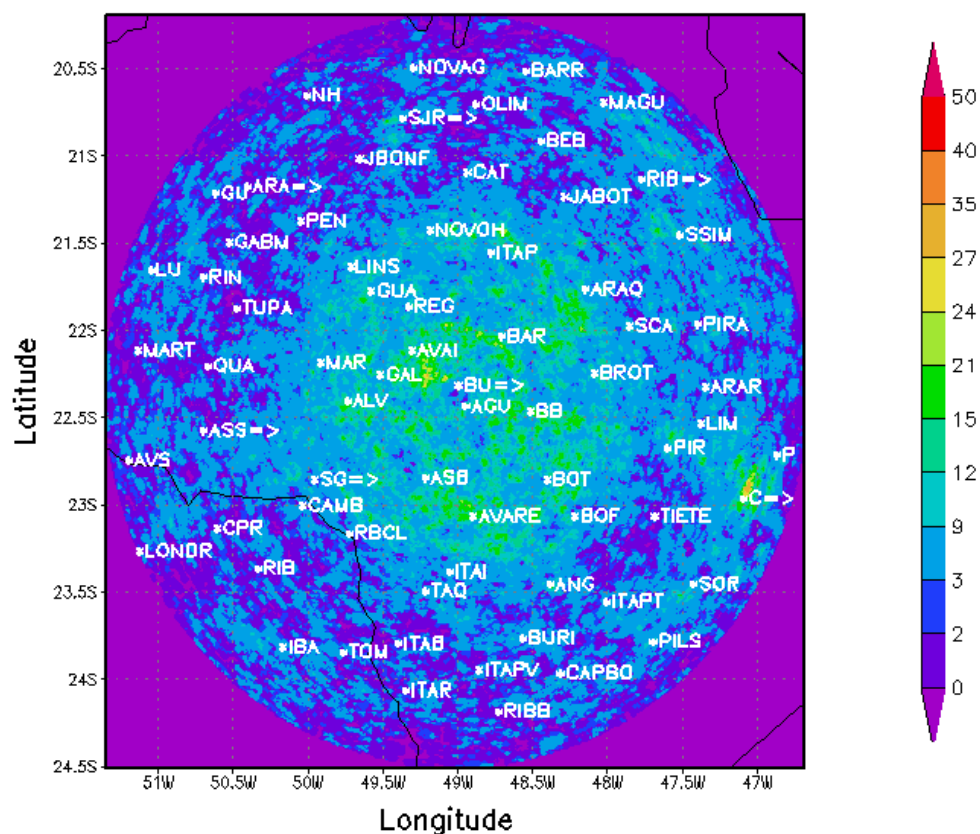


Figura 21 – Número de ocorrências de ecos dBZ ≥ 45 , no mês de dezembro, no período de 1994-2004, em um raio de 240 km em torno de Bauru/SP.

A distribuição dos ecos no mês de janeiro de 1994-2004 é apresentada na Figura 22. A região em torno do radar, em termos de espalhamento, é bem semelhante aos meses anteriores com uma ressalva na intensificação, variando entre 9 e 21 ocorrências. Na região sul do Estado, mais precisamente no município de Capão Bonito (CAPBO), constata-se um acréscimo no número de ocorrência dos ecos ≥ 45 dBZ (entre 9 e 12), assim como nas proximidades de São José do Rio Preto (SJR), onde ocorrências com valores entre 12 e 21 foram computadas. Aglomerados com frequências entre 21 e 27 aparecem à leste de Piracicaba (PIR) e Campinas (C).

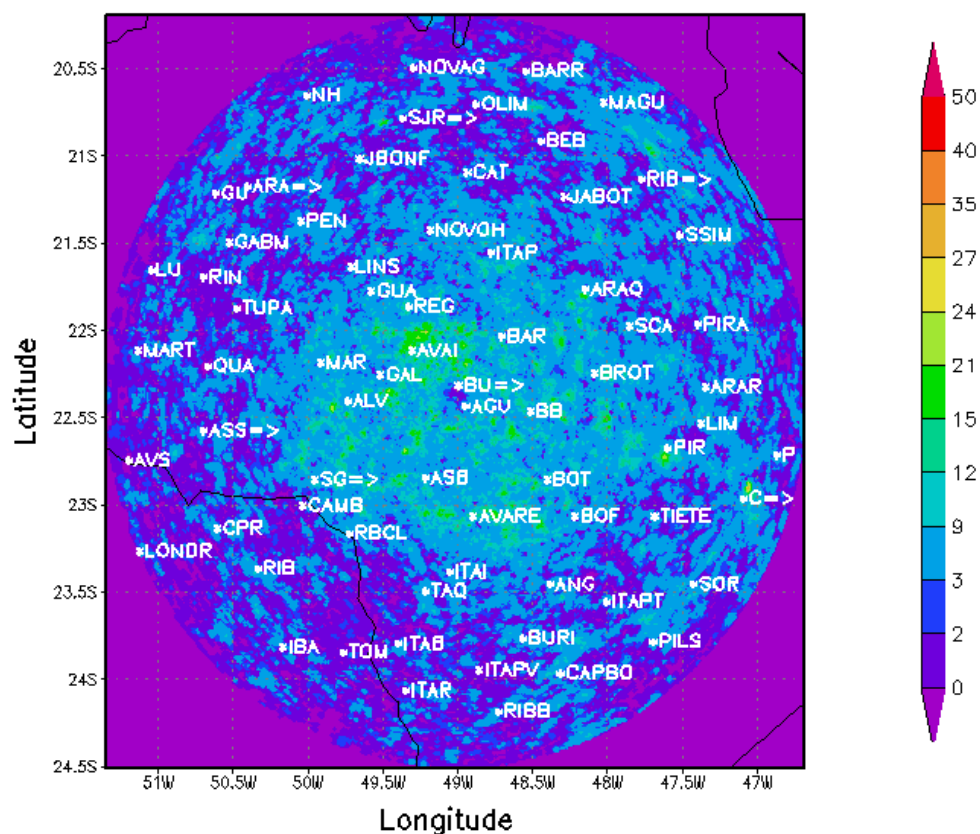


Figura 22 – Número de ocorrências de ecos $\text{dBZ} \geq 45$, no mês de janeiro, no período de 1994-2004, em um raio de 240 km em torno de Bauru/SP.

O mês de fevereiro é apresentado na Figura 23. As regiões sul e norte do Estado apresentam a menor incidência de ecos, como observa-se nas cidades de Itaberá (ITAR), Itararé (ITAR) e Ribeirão Branco (RIBB), representando o sul do Estado, e em Nova Granada (NOVAG) e Olímpia (OLIM), no norte do Estado de São Paulo, com frequência de ecos entre 2 e 9. A região central do Estado apresenta frequência entre 10 e 18 ecos, computados para as regiões de: Alvilândia (ALV), Botucatu (BOT), Brotas (BROT), Bariri (BAR), Araraquara (ARAQ), Campinas (C) e Itápolis (ITAP). Alguns pequenos pontos com valores acima de 23 ocorrências aparecem nas proximidades de São José do Rio Preto (SJP) e nas proximidades da localização do radar.

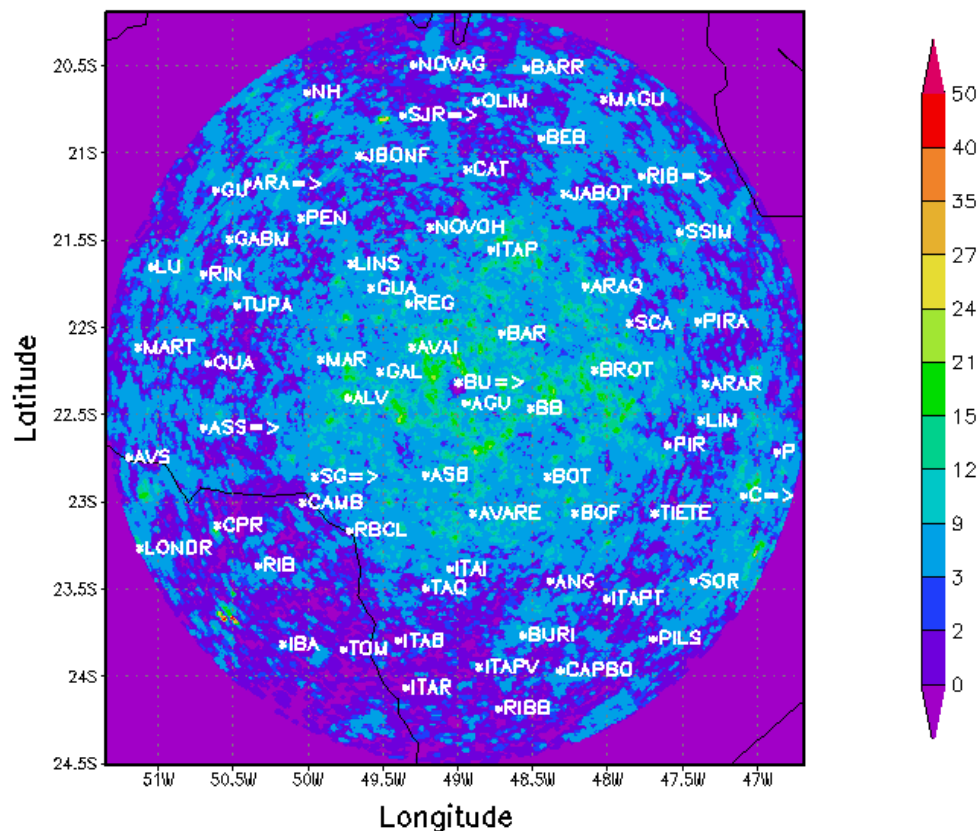


Figura 23 – Número de ocorrências de ecos ≥ 45 dBZ, no mês de fevereiro, no período de 1994-2004, em um raio de 240 km em torno de Bauru/SP.

A Figura 24 mostra a distribuição de ecos nos meses de março, sendo que na região central o número de ocorrências de ecos ≥ 45 dBZ é de 9 a 21, como em Novo Horizonte (NOVOH), Marília (MAR), Reginópolis (REG), Alvinópolis (ALV), Bofete (BOF), entre outras. Número de ocorrências acima de 40 é observado na região de Campinas, definida como a região de valor máximo, no mês de março. Na Figura 23 podemos observar, ainda, áreas com núcleos de mínimos valores de ocorrências de ecos (≥ 45 dBZ), ao redor da cidade de Tietê, entre Araçatuba (ARA), Tupã, Lins e José Bonifácio; entre Itaberá (ITAR), Itapeva (ITAPV), Ribeirão Branco (RIBB), continuando ao sul até o limite do raio de pesquisa, com número de ocorrência entre 0 e 9.

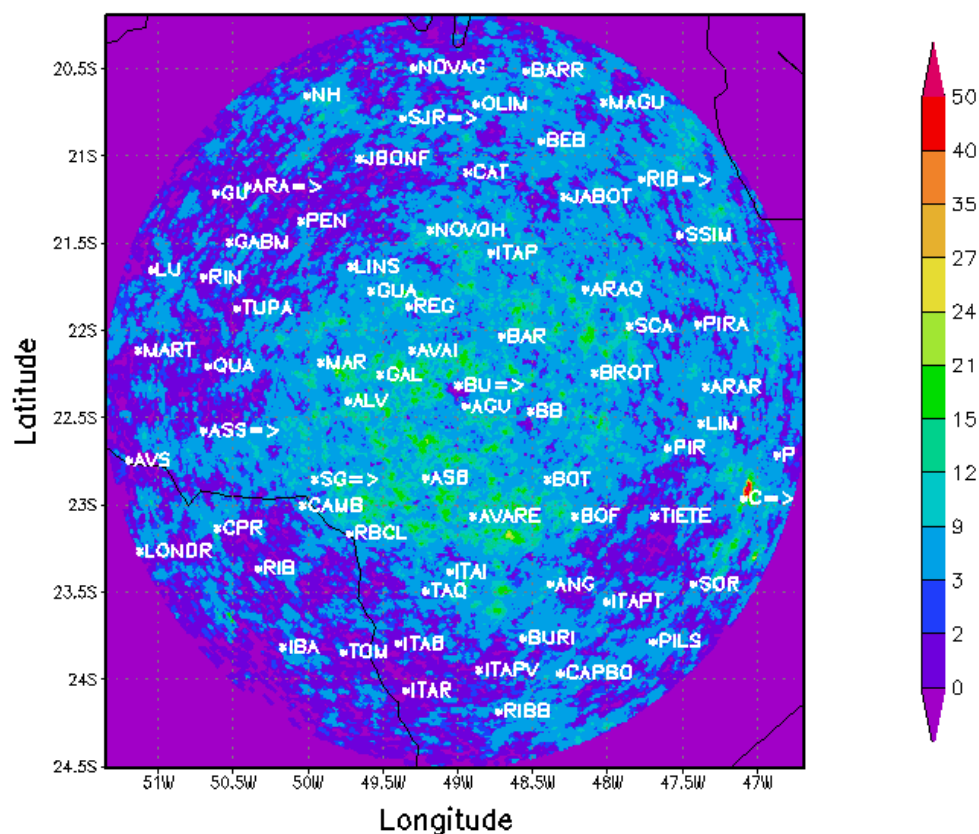


Figura 24 – Número de ocorrências de ecos ≥ 45 dBZ, no mês de março, no período de 1994-2004, em um raio de 240 km em torno de Bauru/SP.

A Figura 25 mostra o número de ocorrências dos ecos ≥ 45 dBZ, em todo período chuvoso (novembro-março). Observa-se que a região central concentra valores quase uniformes, em torno de aproximadamente 100 km em torno do radar (entre 25 e 62), sendo que entre Bauru (BU) e Avaí, nota-se uma pequena concentração com valores entre 67 e 70, assim como alguns pontos isolados ao redor de Bauru (BU). Os extremos norte e sul apresentam a menor incidência de ecos (5 e 10), com destaque para a região sul que apresenta uma área espacial maior, em comparação com a norte. Algumas pequenas áreas apresentam baixo número de ocorrência de ecos ≥ 45 , formando imperfeições (buracos), como por exemplo entre Tietê e Itapetininga (ITAPT), região de Itararé (ITAR), Tupã, nordeste e oeste de Penápolis (PEN) e Noroeste de Jaboticabal (JABOT), que apresentam os menores números de ocorrência (5).

4.4.1 Ecos máximos para o período chuvoso

Na Figura 25, em torno do radar aparecem regiões marcadas por pequenos círculos, destacadas nas cores preta e branca. Somente nesses locais (próximo do radar) a confiabilidade da informação é baixa, de maneira que, para as regiões distantes do radar as referidas cores indicam valores sem restrição à qualidade do dado. Esse tipo de erro é devido a problemas inerentes ao radar, ou seja, relacionado com a interpolação feita por software, quando na aquisição da tarefa CAPPI e/ou erros refletidos de tempestades distantes do radar, conforme mostrado no item 2.3.6 (Figura 5).

A soma total de ecos $\geq 45\text{dBZ}$, para todo o período chuvoso é apresentada na Figura 25, onde se pode observar os locais predominantes dos ecos associados às chuvas fortes, na região central do Estado de São Paulo. A região de maior incidência compreende os municípios de Campinas (C), Piracicaba (PIR) e Mirassol, cidade localizada a oeste de São José do Rio Preto (SJRP), onde a soma de total de ecos variaram entre 100 e 130, 60 e 80, e entre 80 e 100, ocorrências de ecos, respectivamente.

O intervalo de frequência considerado como melhor representante da região central do Estado de São Paulo está situado entre 30 e 60 eco, acumulados durante os meses chuvosos, conforme podemos notar nas cidades de Lins, Marília (MAR), Botucatu (BOT), Brotas (BROT) e Araraquara (ARAQ).

As menores frequências de ecos de radar estão bem definidas na região sul, representada pelas cidades de Itaberá (ITAR), Itapeva (ITAPV) e Ribeirão Branco (RIBB), na região oeste representada por Lucélia (LU), Tupã e Martinópolis (MART), e na região norte, representada por Nova Granada (NOVAG) e Barretos (BARR), com número de eventos entre 5 e 20, durante todos os meses chuvosos (novembro-março).

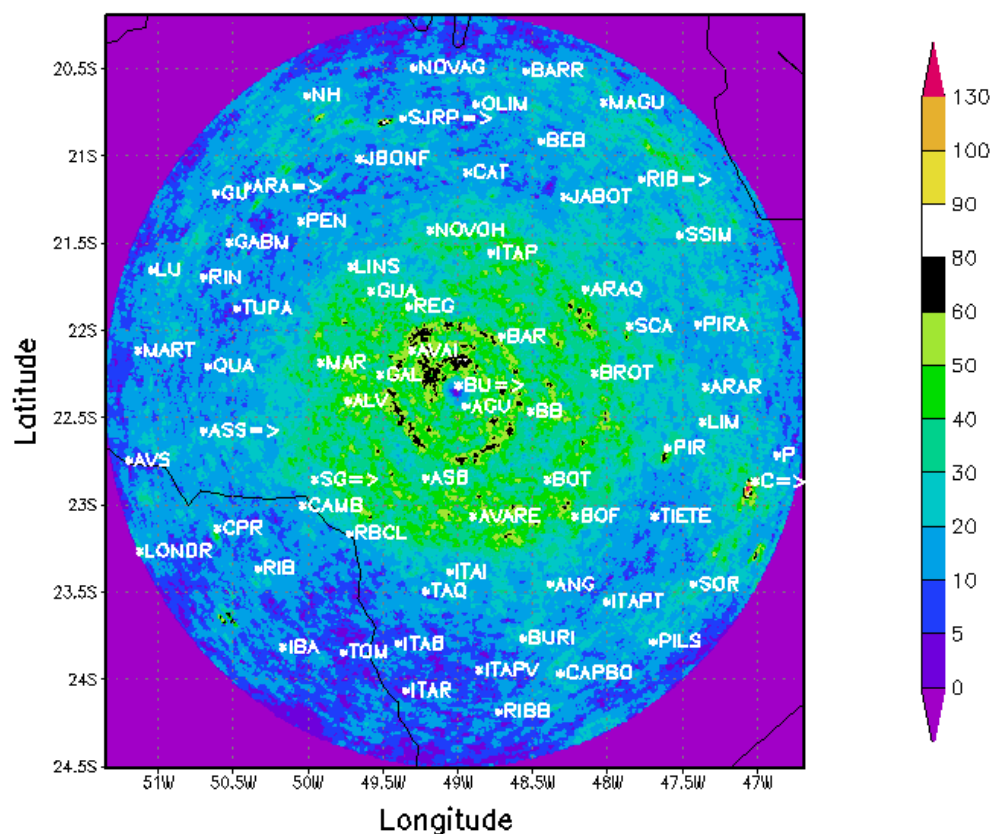


Figura 25 – Frequência de ecos ≥ 45 dBZ, do período chuvoso (novembro-março) de 1994-2004, em um raio de 240 km em torno de Bauru/SP.

Áreas com baixa confiabilidade (somente nas proximidades do radar), representadas pelas cores preta e branca.

4.4.2 Considerações para a cidade de Campinas

A Figura 26 representa, uma ampliação (zoom) da região de Campinas (C), onde observa-se as somas dos ecos maiores ou iguais a 45 dBZ, para todo o período chuvoso e as isoietas da região. As cidades vizinhas a Campinas são: Paulínia, Hortolândia, Indaiatuba e Valinhos foram plotadas na Figura 26.

Observa-se que a oeste de Campinas (C) há uma extensa região com altitudes em torno de 600 metros, indicando a presença de um vale e a nordeste do município de Campinas há uma região com altitudes com até 900 metros, denotando a presença de montanhas. Núcleo máximo de ocorrência de ecos com dBZ ≥ 45 , está localizado em uma altitude entre 650 e 700m. A região metropolitana de Campinas possui 907.996 habitantes e área territorial de 797,6 km².

Conforme podemos observar, o centro com valor máximo (>130) está situado na região metropolitana de Campinas, exatamente no mesmo local onde Naccarato et al. (2003), encontraram alta densidade de descargas elétricas no sentido nuvem-solo, obtidos por 14 sensores, durante os meses de dezembro, janeiro e fevereiro, no período de 1999 à 2002.

Tomando como base os municípios fronteiriços com a cidade de Campinas, na região fora da área metropolitana, a frequência de ecos cai para a faixa de 30 a 50 ocorrências de ecos ≥ 45 dBZ, em praticamente toda extensão que separa Campinas de Hortolândia, Paulínia, Valinhos, Vinhedo e Indaiatuba.

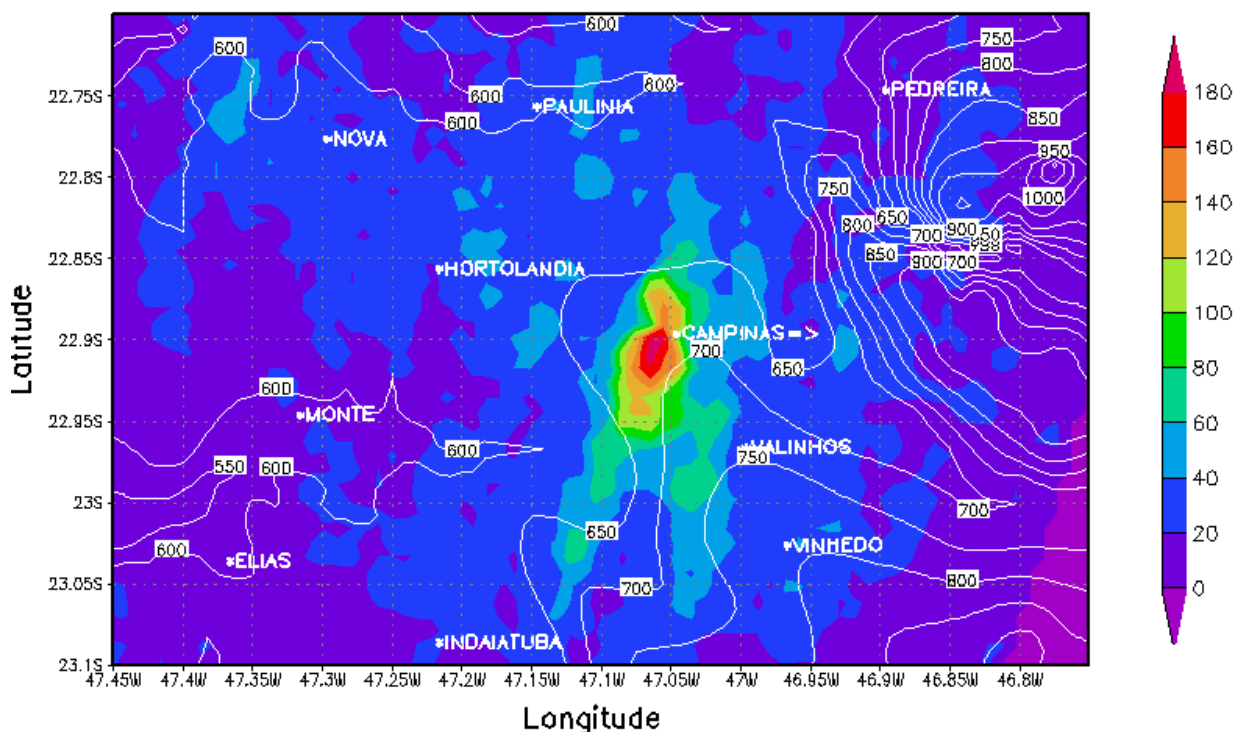


Figura 26 – Frequência de ecos ≥ 45 dBZ, no período chuvoso (novembro-março) de 1994-2004, na região de Campinas/SP (C).

As linhas brancas correspondem às isoietas da região e os números representam os valores de altitude.

4.4.3 Distribuição das frequências das tempestades para a cidade de Campinas

A distribuição de frequências de ecos ≥ 45 dBZ, relacionadas com tempestades, para as coordenadas mais próximas do centro dos eventos máximos, na região urbana de Campinas (C), de toda a grade é mostrada na Tabela 9. Em todos os meses chuvosos (novembro-março), foram totalizados 8.764 eventos computados.

De acordo com os dados da tabela pode-se observar uma maior concentração dos ecos no intervalo entre 15 dBZ e 20 dBZ, seguidos pelos intervalos entre 21-25 dBZ e 26-30 dBZ, que de maneira geral representam a maior concentração dos ecos, ou

seja, 82,3% dos ecos precipitantes no município de Campinas (C) estão situados entre 15 dBZ e 30 dBZ, o que segundo Falconer (1984), corresponde ao PIV 1, com taxa de 2,5 mm/h, classificada como chuva de intensidade fraca. A distribuição de ecos para o município de Campinas (C) apresenta um percentual de 15,3% dos ecos entre 31 dBZ e 40 dBZ, correspondentes ao PIV 2, com taxa entre 2,5 – 12,7 mm/h, classificada como moderada.

A Tabela 9 mostra ainda o percentual de 1,7% para chuvas fortes (PIV 3), entre 12,7 e 24 mm/h; de 0,5% para chuva muito forte (PIV 4), com taxa de precipitação entre 24 e 49 mm/h e apenas 0,2% de chuvas intensas e extremas, PIV 5 e PIV 6, que correspondem às taxas de 49 e 100mm/h e entre 100 e 205 mm/m, respectivamente. A evolução dos ecos de radar (tendência), durante o período de 1994-2004 para a cidade de Campinas encontra-se nas Figuras 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39 e 40, correspondendo aos intervalos apresentados na Tabela 9, para os meses do período chuvoso (Apêndice 3).

Tabela 9 – Distribuição da frequência de ecos durante os meses do período chuvoso (novembro-março), na cidade de Campinas de 1994 a 2004 (recorde 63 dBZ).

Intervalo (dBZ)	Número de eventos	Porcentagem (%)
15-20	3577	40.8
21-25	2240	25.6
26-30	1396	15.9
31-35	952	10.9
36-40	385	4.4
41-45	151	1.7
46-50	48	0.5
>50	15	0.2
Total	8764	100.0

4.4.4 Distribuição das frequências das tempestades para as cidades de Mirassol e Piracicaba

A Figura 27 apresenta uma ampliação (zoom) da região de Mirassol, onde são mostradas as somas dos ecos maiores ou iguais a 45 dBZ e as isoietas dessa região, onde está localizado o município. As cidades vizinhas a Mirassol são: Bálamo, São José do Rio Preto (SJRP), Jaci e Monte Aprazível Conforme a Figura 27, a cidade de São José do Rio

Preto destaca-se como sendo considerada uma metrópole com 351.944 habitantes e área territorial de 434,1 km².

Na Figura 27, um núcleo com a maior incidência de ecos ≥ 45 dBZ foi encontrado a partir do centro da cidade de Mirassol, estendendo-se na direção de São José do Rio Preto (SJRP), com frequência de ecos entre 80 e 90. Conforme se pode observar nas isolinhas que representam a altitude da região, a cidade de Mirassol está situada em uma área com altitude em torno de 460 metros, sem elevações nas proximidades, o que descarta a participação de chuvas orográficas na região. Essa concentração é devida à proximidade da cidade de Mirassol com a metrópole de São José do Rio Preto, que como toda grande cidade teve crescimento urbano desordenado, aumento da atividade industrial e populacional (Sposito, 2001).

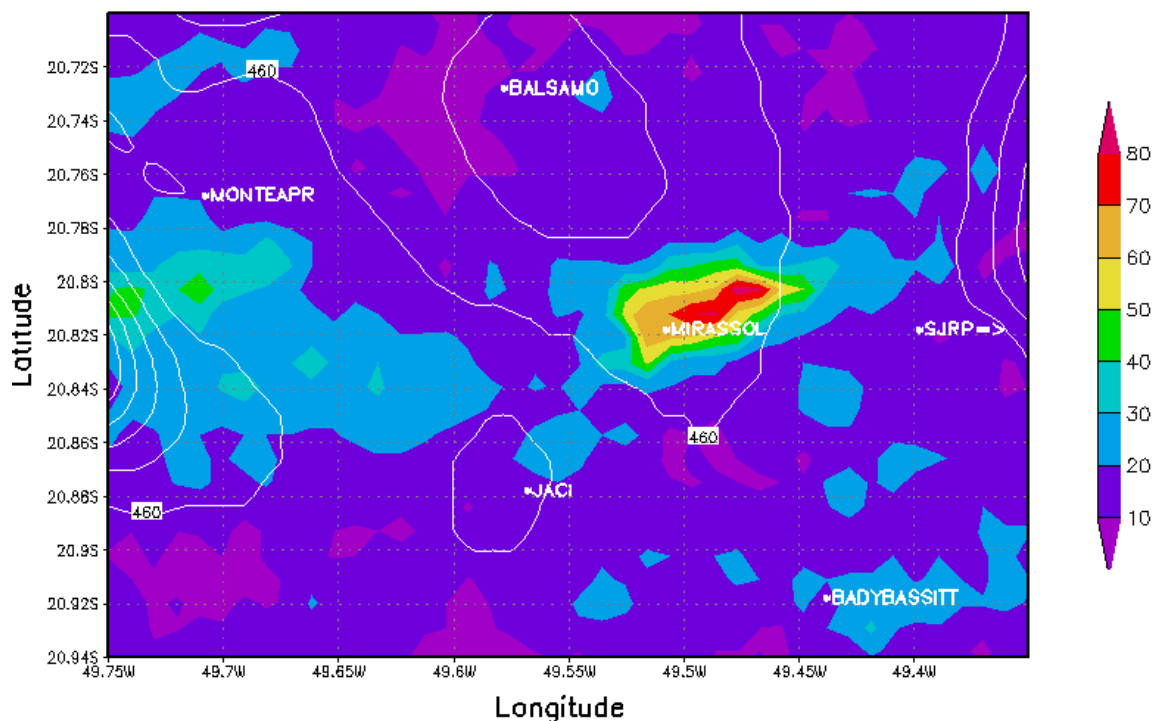


Figura 27 – Frequência de ecos ≥ 45 dBZ, para a região de Mirassol, do período chuvoso (novembro-março) de 1994-2004.

O município de Piracicaba (Figura 26b) possui 300.500 habitantes com área territorial de 158,06 km², com altitude entre 500 e 550 metros. Na Figura 27b observa-se algumas cidades que fazem fronteira com Piracicaba: Iracemápolis (IRACEMA), Limeira (LIM) e Saltinho. Devido a sua grande área territorial na escala da Figura 27b, não foi possível plotar todas as cidades que limitam o município de Piracicaba. Na Figura 27b, temos um núcleo de maior ocorrência de ecos localizado no centro da cidade, com valores entre 60 e 70, com extensão para o sul do centro da área urbana. Como também em Piracicaba não existe a participação da chuva orográfica, a explicação para essa grande concentração de ecos, associados às tempestades está na influência do fenômeno ilha de calor.

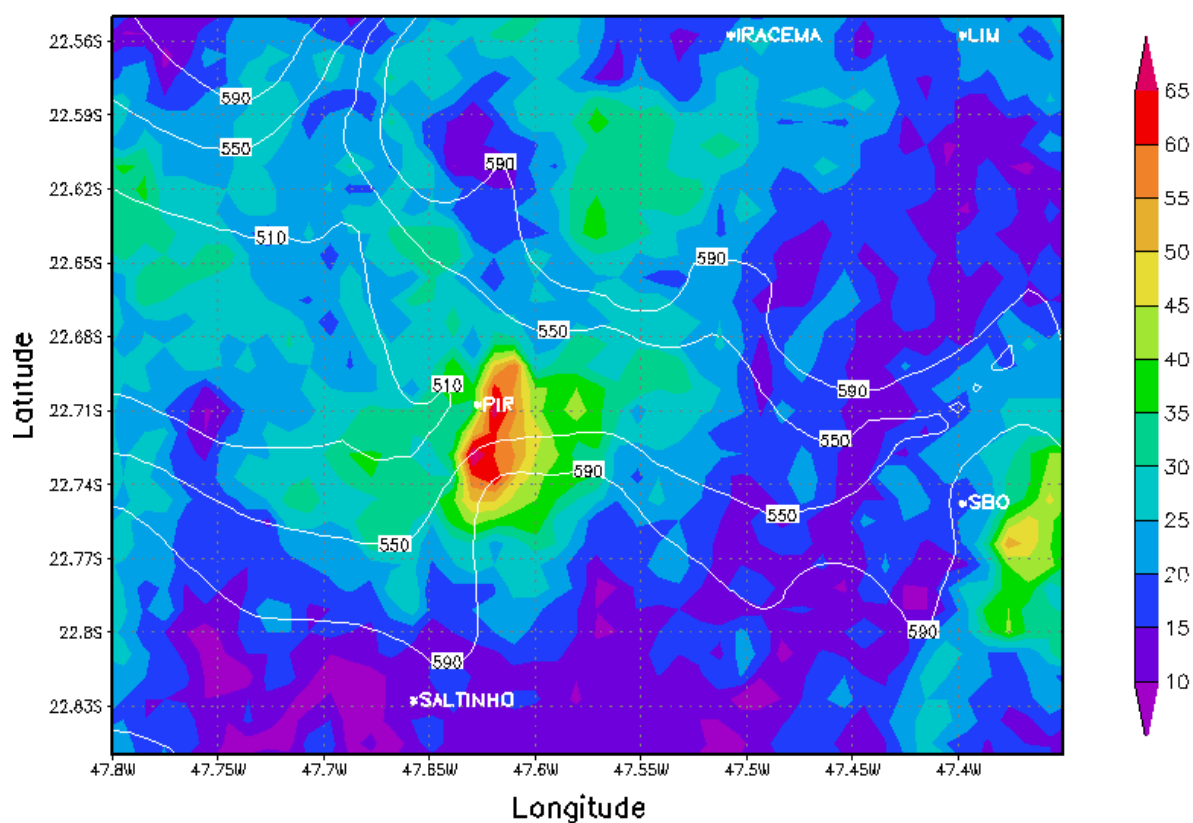


Figura 28 – Frequência de ecos ≥ 45 dBZ, para a região de Piracicaba, do período chuvoso (novembro-março) de 1994-2004.

4.5. A Distribuição da chuva acumulada

Como já discutido anteriormente, toda a acumulação de chuva para cada pixel da tarefa CAPPI, com um quilômetro quadrado de resolução, foi utilizada a relação de conversão de Z (refletividade) em R (chuva), de acordo com a equação de Marshall e Palmer. Os campos, a seguir, representam as médias de R para cada pixel, em um raio de 240 km de Bauru, para todos os meses do período chuvoso: novembro, dezembro, janeiro, fevereiro e março, de 1994 até 2003. O ano de 2004 não computado por ter sido escolhido como mB (3.4.2). Os dados utilizados nesta seção obedecem ao critério mostrado na seção 3.4.2, sendo que somente foram computados os meses que em tenham pelo menos 60% dos dias com informação.

4.5.1 Média acumulada de chuva para o mês de novembro

A Figura 29 mostra a chuva acumulada média (resolução de 1 km²) referente aos meses de Janeiro 1994-2003, no raio da pesquisa. Na Figura 29 observa-se que ao redor do local onde o radar está instalado tem-se um pequeno círculo sem informações de chuva, devido à limitação dos radares de não poderem estimar chuvas sobre a perpendicular do local onde se encontram. Foram destacados pontos com valores extremos, que contaminam os valores de chuva acumulada, formando círculos ao redor do radar, o que torna baixa a confiabilidade da informação. A partir daqui, essas áreas estarão demarcadas com as cores preto e branco, indicando a presença desse erro sistemático, relacionados em 2.3.1, 2.3.4 e 2.3.6. Essa demarcação é válida somente para as regiões em torno do radar, com aparência de pequenos círculos, nos pontos mais distantes do radar, as cores citadas acima representam apenas a intensidade dos dados coletados pelo radar.

A Figura 29 mostra que a distribuição de chuvas com intensidades entre 160 e 180 mm aparecem como médias na maioria dos municípios ao redor de Bauru: Lins, Novo Horizonte (NOVOH), Marília (MAR) e Botucatu (BOT) e também em municípios

a mais de 200 km do radar: Barretos (BARR), Piracicaba (PIR) e Campinas (C).

A faixa de precipitação média entre 100 e 140 mm é a mais representativa do raio de 240 km, em torno de Bauru, para o mês de novembro, uma vez que abrange a maior parte dos municípios segundo o radar meteorológico.

Ao sul da latitude de 23,50°S, estão os municípios com as médias entre 40 e 60mm, onde estão localizadas as cidades de Itapeva (ITAPV), Itabera (ITAB), Itapetininga (ITAPT), Pilar (PILS) e Ribeirão Branco (RIBB), caracterizando com a região de menor pluviosidade do Estado, no mês de novembro.

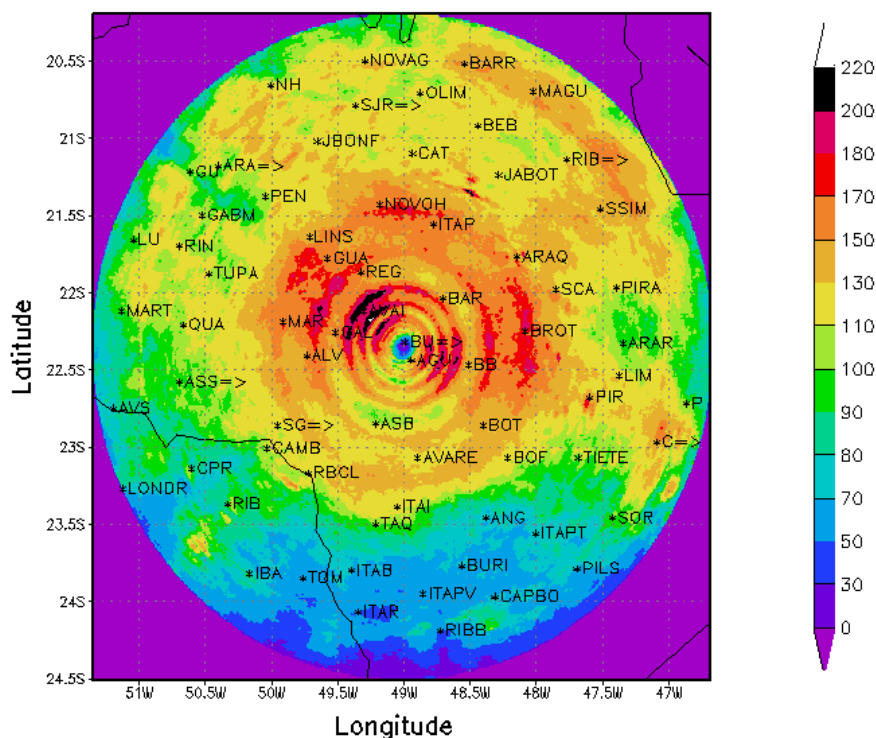


Figura 29 – Chuva acumulada média (mm), obtida pela relação Marshall-Palmer, em um raio de 240 km em torno de Bauru/SP para novembro de 1994-2003.

Áreas com baixa confiabilidade (somente nas proximidades do radar), representadas pelas cores preta e branca.

4.5.3 Média acumulada de chuva para o mês de dezembro

A distribuição da chuva acumulada média para o mês de dezembro, no período de 1994-2003, é apresentada na Figura 30. As maiores intensidades médias de chuva acumulada encontram-se entre 210 e 240 mm, na maioria na região próxima ao radar, sendo algumas delas localizadas nas regiões de baixa confiabilidade: Guarantã (GUA), Alvilândia (ALV), Marília (MAR), Novo Horizonte (NOVOH), Itápolis (ITAP) e a maiores distâncias do radar, como na região de Campinas (C) e entre Avaré e Bofete (BOF). As cidades de Araraquara (ARAQ) e São Carlos (SCA), apresentam valores acima de 230mm.

Os totais médios entre 100 e 150mm, são observados em grande parte dos municípios que compõem a área de abrangência do CAPPI, como podemos constatar nos municípios de: Nhandeara (NH), Olímpia (OLIM), Bebedouro (BEB), Jaboticabal (JABOT), Limeira (LIM) e Angatuba (ANG). Médias de chuva entre 80 e 130 mm aparecem nas regiões sul, compreendendo as cidades de Taquarituba (TAQ), Itaporanga (ITAB), Buri, e Capão Bonito e, na região oeste englobando os municípios de Martinópolis (MART), Quatá (QUA) e Assis (ASS).

A região sul do Estado de São Paulo aparece como a que obtém as menores médias de chuva acumulada (entre 50 e 80mm), conforme se pode observar na Figura 30, na região dos municípios de Itararé (ITAR), e Ribeirão Bonito (RIBB) e médias ligeiramente maiores (80 e 100mm) em Capão Bonito (CAPBO) e Itapeva (ITAPV).

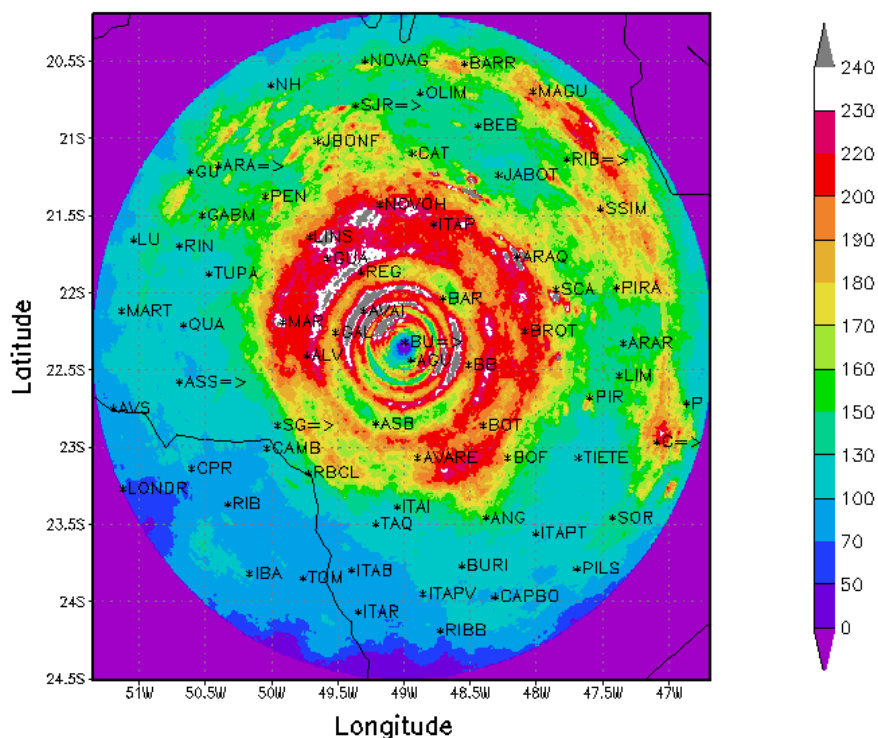


Figura 30 – Chuva acumulada média (mm), obtida pela relação Marshall-Palmer, em um raio de 240 km em torno de Bauru/SP para dezembro de 1994-2003. Áreas com baixa confiabilidade (somente nas proximidades do radar), representadas pelas cores preta e branca.

4.5.4 Média acumulada de chuva para o mês de janeiro

A distribuição da chuva acumulada média para o mês de dezembro, no período de 1994-2003, apresentada na Figura 31. As intensidades médias de chuva entre 200 e 230 mm aparecem nas cidades Marília (MAR) e Brotas (BROT)., Botucatu (BOT) e, um máximo valor de precipitação acumulada é observado na cidade de Araraquara (>260 mm).

O intervalo de chuva média entre 150 e 200 mm compreende uma parte significativa da área em estudo, conforme se pode observar na Figura 31, nos municípios de José Bonifácio (JBONF), Tupã, Bofete (BOF), Campinas (C) e Bebedouro (BEB).

As menores intensidades de chuva acumulada continuam na região sul do Estado, envolvendo as regiões das cidades de Taquaritinga (TAQ), Buri, Itapetininga (ITAPT), Itapeva (ITAPV) e Capão Bonito (CAPBO), com intensidades entre 100 e 150 mm.

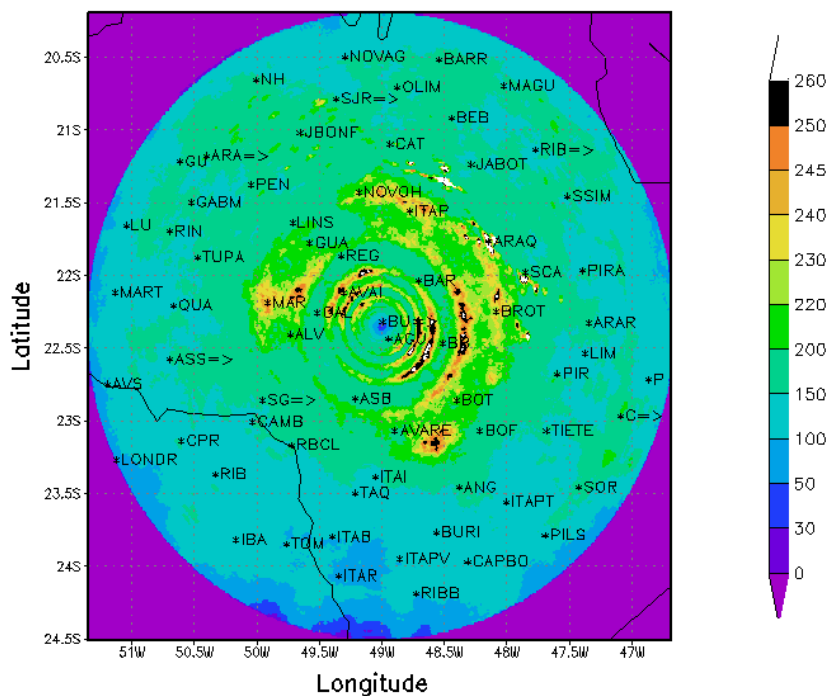


Figura 31 – Chuva acumulada média (mm), obtida pela relação Marshall-Palmer, em um raio de 240 km em torno de Bauru/SP para janeiro de 1994-2003.

Áreas com baixa confiabilidade (somente nas proximidades do radar), representadas pelas cores preta e branca.

4.5.5 Média acumulada de chuva para o mês de fevereiro

As maiores intensidades médias para o mês de fevereiro foram observadas nas regiões de Novo Horizonte (NOVOH), Itápolis (ITAP), Lins, Marília (MAR), Guarantã (GUA) e Campinas (C), todas com intensidades médias entre 220 e 240 mm (Figura 32).

Intensidades médias intermediárias entre 170 e 200 milímetros de chuva acumulada são observadas na Figura 32, nas regiões de Jaboticabal (JABOT), Piracicaba (PIRA), Bofete (BOF), Tupã e Penápolis (PEN).

De acordo com o radar meteorológico, a região com menor intensidade média, no mês de fevereiro é a região sul, com intensidades variando entre 50 e 100 mm, nas cidades de Itaberá (ITAB), Itararé (ITAR) e Ribeirão Branco (RIBB) e entre 120 e 170 mm nas cidades de Taquarituba (TAQ), Angatuba (ANG), Buri e Pilar do Sul

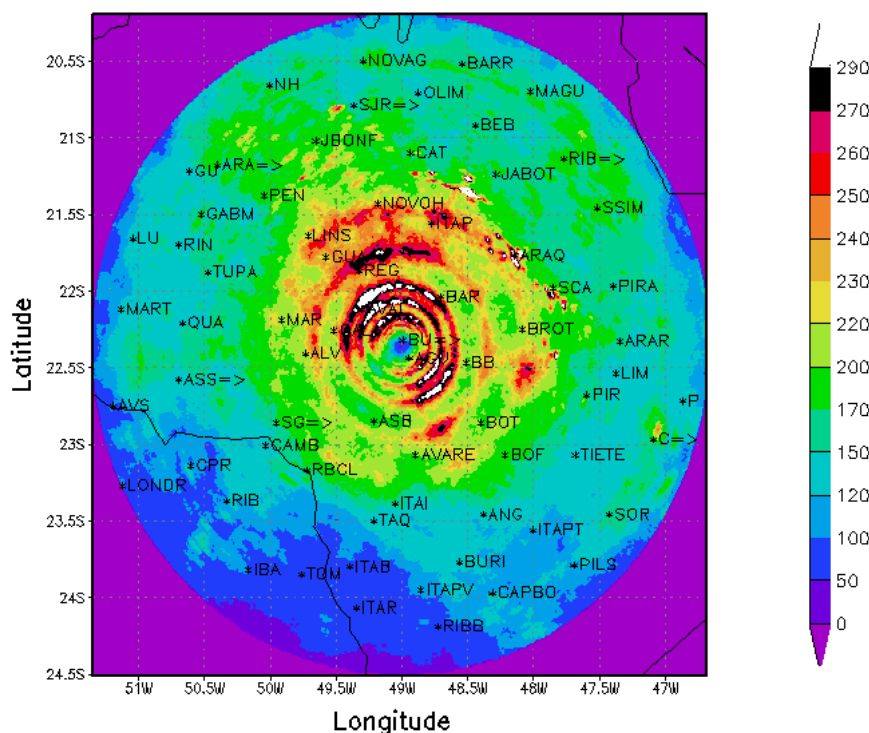


Figura 32 – Chuva acumulada média (mm), obtida pela relação Marshall-Palmer, em um raio de 240 km em torno de Bauru/SP para fevereiro de 1994-2003.

Áreas com baixa confiabilidade (somente nas proximidades do radar), representadas pelas cores preta e branca.

4.5.6 Média acumulada de chuva para o mês de março

A Figura 33 mostra a chuva acumulada média para o mês de março, durante o período de 1994-2003. As intensidades mais significativas (>160 mm), dentro da

região de maior confiabilidade estão nas regiões de São Carlos (SCA), Araraquara (ARAQ), Piracicaba (PIRA) e Campinas (C), seguidas por chuvas acumuladas médias de intensidades entre 120 e 140 mm, abrangendo um número bem maior de municípios: Barretos (BARR), São José do Rio Preto (SJR), Bebedouro (BEB), Lins, Guarantã (GUA) e Avaré. As regiões com precipitação média intermediária, entre 100 e 110mm, compreendem as cidades de Ribeirão Preto (RIB), Jaboticabal (JABOT) e Gália (GAL).

As menores intensidades médias estão na região sul do Estado, com valores entre 50 e 70 mm, em Itararé (ITAR) e Ribeirão Branco. Algumas cidades apresentam intensidades médias ligeiramente superior, às cidades citadas, na mesma região: Buri, Itapetininga (ITAPT), Capão Bonito (CAPBO) e Pilar do Sul (PILS), com intensidades entre 70 e 90 mm.

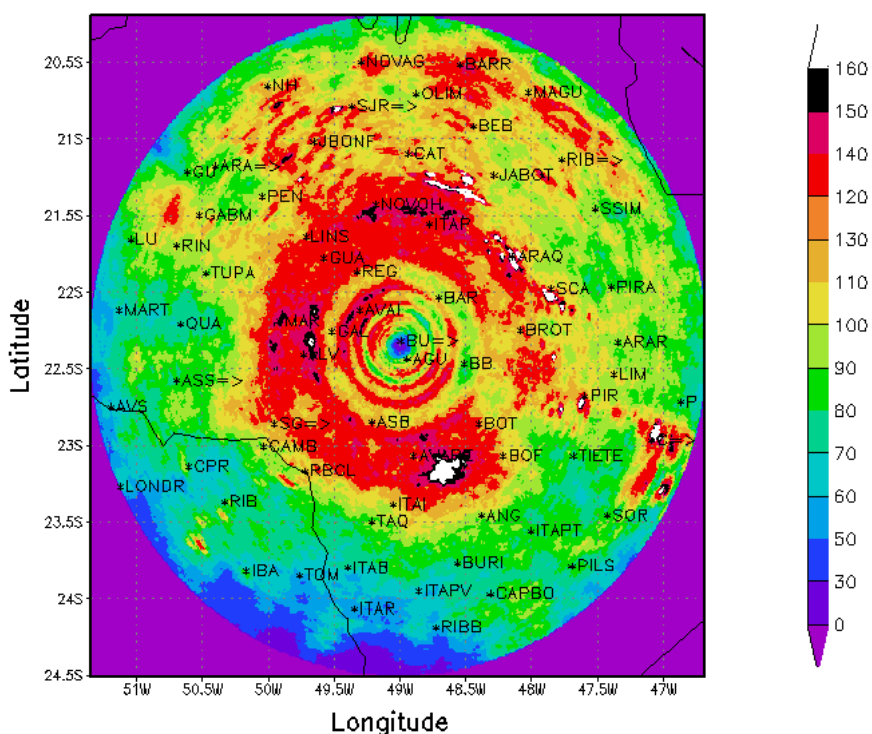


Figura 33 – Distribuição da chuva acumulada (relação Marshall/Palmer) média (mm) em um raio de 240 km em torno de Bauru/SP para março de 1994-2003.

Áreas com baixa confiabilidade (somente nas proximidades do radar), representadas pelas cores preta e branca.

4.6 Anomalia de chuva

Até o item anterior, todos os cálculos para a acumulação da precipitação, obtida da relação Z-R de Marshall-Palmer (1948), foram do período de 1994-2003, com o propósito de utilizar o ano de 2004 apenas como ano de referência (mB), para interpretação da anomalia de chuva.

Utilizando a equação (9) em cada pixel da matriz do raio de 240 km do radar, ou seja, a matriz com 480 x 480 pontos, foi calculada a anomalia de chuva para os meses de novembro, dezembro, janeiro, fevereiro e março (mB = 2004). Tais anomalias para os meses chuvosos, na região central do Estado de São Paulo, são apresentadas na Figura 34 (Apêndice 3).

A anomalia do mês de novembro é apresentada na Figura 34a (Apêndice 3), na qual as cores tendendo da amarela para a vermelha representam as anomalias positivas, implicando em chuvas acima da média, conforme observa-se na região leste do Estado entre Piracicaba (PIRA) e Araraquara (ARAQ) e no oeste do Estado, compreendendo as regiões de Tupã, Lucélia (LU) e Araraquara (ARA). As anomalias negativas se estendem pela região central do Estado, passando pelas regiões de Catanduva (CAT), Gália (GAL), Bariri (BAR), Barra Bonita (BB) e Piracicaba (PIR), com anomalias entre -40 mm e -80 mm.

A Figura 34b (Apêndice 3) apresenta a anomalia para o mês de dezembro de 2004 com valores positivos em torno de 60 mm nas regiões de Penápolis, (PEN), Marília (MAR), Araraquara (ARAR) na região sul: Itapeva (ITAPV), Itararé (ITAR) e Ribeirão Bonito (RIBB). As anomalias negativas abrangendo vários municípios da região central, com destaque para os municípios de Piracicaba (PIRA), Campinas (C), Jaboticabal (JABOT), Ribeirão Preto (RIB) e São José do Rio Preto (SJR), com anomalias em torno de -90 mm.

A Figura 34c (Apêndice 3) representa a anomalia do mês de janeiro de

2004, com anomalias positivas acima de 100 mm na maioria das regiões situadas ao norte da latitude de 22,5°S, envolvendo as cidades de Martinópolis (MART), Novo Horizonte (NOVOH), São José do Rio Preto (SJR), Nova Granada (NOVAG), Araraquara (ARAQ), São Simão (SSIM), etc. Nas regiões ao sul da coordenada citada, a maioria apresenta anomalias negativas (ao redor de -50mm), conforme se pode observar em Salto Grande (SG), Bofete (BOF), Buri, Ribeirão Branco (RIBB).

Os meses de fevereiro e março de 2004, Figuras 33d e 33e (Apêndice 3), foram caracterizados como os meses menos chuvosos, segundo o sinal da anomalia, negativo na maioria das regiões em ambos os meses, com anomalias positivas nas regiões sul, oeste e norte, com valores entre 30m e 60 mm. As anomalias negativas mais importantes ocorreram na região central, sendo mais significativa em termos espaciais, no mês de fevereiro.

5. CONCLUSÕES

Analisando as informações apresentadas neste trabalho, englobando todos os pixels da matriz contendo dados de ecos do radar, dos meses mais chuvosos do Estado de São Paulo, novembro, dezembro, janeiro, fevereiro e março, de 1994 à 2004, constatou-se que é no período da noite que os meses de janeiro são ligeiramente superiores aos meses de dezembro, entre os horários da 20 e 22 horas (local), horário esse considerado como máximo, ou de pico, para todos os meses do período chuvoso.

A maior concentração da chuva está situada nos períodos do dia, tarde e noite, independente do mês, iniciando a partir das 12 horas, atingindo o valor máximo entre 16 e 20 horas. A partir das 22 horas inicia o decréscimo da intensidade da chuva, até o horário compreendido entre 10 e 11 horas, quando a intensidade da chuva alcança o seu valor mínimo.

A cidade de Campinas apresentou características peculiares, como por

exemplo, a localização da maior frequência de ecos definidos como o limiar de tempestades (≥ 45 dBZ), na mesma região onde ocorre a maior quantidade de descargas elétricas. Uma das causas desse resultado está relacionada ao fenômeno ilha urbana de calor considerando a hipótese termal, na qual devido ao aumento da temperatura nas regiões metropolitanas, há aumento da convergência sobre a região levando à ocorrência de um número maior de tempestades. Analisando a distribuição de ecos de radar em vários intervalos de dBZ, constatou-se uma tendência de aumento de 1994 à 2004, exatamente nos ecos mais importantes em termos de quantificação e qualificação de chuvas: PIV5, PIV4 e PIV3, correspondendo as chuvas intensa, muito forte e forte, para a região de Campinas.

As cidades de Mirassol, situada nas proximidades de uma das metrópoles do interior de São Paulo (São José do Rio Preto) e Piracicaba apresentaram valores máximos de ecos ≥ 45 dBZ, locais que merecem atenção especial para os pesquisadores que estudam a distribuição de descargas elétricas, ou ciências correlatas.

Os campos de chuva acumulada, oriundos da relação Z-R, utilizada nesta pesquisa, mostram com detalhes as regiões antagônicas, em termos de quantidade média de chuva acumulada como, por exemplo, a aparente escassez de chuva na região sul, quando comparada às outras regiões. Esse resultado pode estar relacionado com a altitude da região, marcada por elevações, o que dificulta a detecção de todos os tipos de chuva pelo radar, principalmente as do tipo estratiforme, por possuírem topos relativamente baixos. O resultado leva a concluir que o tipo de precipitação mais frequente na região sul do Estado de São Paulo é a estratiforme.

A anomalia de chuva mostrou que no mês de novembro de 2004, excetuando-se as regiões oeste e leste do Estado, que obtiveram anomalias acima da média, o restante da região central do Estado de São Paulo obteve anomalias abaixo da média em grande parte da região central, com déficit em torno de 80 mm. No mês de dezembro o campo de anomalia mostrou que a maioria das áreas como positivas, indicando chuvas acima da média, sendo que, para no sul do Estado ocorreram incrementos de chuvas de até 80 mm.

A metodologia apresentada neste trabalho, por ser até então inédita, é de grande valia para o meio científico envolvendo tecnologia, experimentos, implementação de novas áreas de cultivo, etc., pois facilita o acesso a informações da evolução da característica da chuva, com alta resolução espacial, o que permitirá estudos pontuais de qualquer localidade dentro do raio de abrangência do produto CAPPI. Tal possibilidade, ajuda no conhecimento de regiões sob o ponto de vista de informações representativas de áreas, localizações que as representam e a evolução da intensidade da chuva.

Sugestões de continuidade desta pesquisa abordam alguns pontos no sentido de aprimorar as informações coletadas por radar. Uma delas se refere ao modo de relacionar refletividade do radar com chuva. Nota-se que a maioria das relações Z-R, apresentam a mesma formulação matemática, apesar de serem utilizadas formas diferentes quanto à física da precipitação, se observa na literatura variações dos coeficientes no sentido incrementar ou diminuir a estimativa da chuva. Um caminho pouco utilizado, mas bastante promissor, é o emprego dos métodos inversos.

Uma pesquisa na mesma linha, agora utilizando o radar localizado em Presidente Prudente, permitirá informações das características dos ecos de radar em locais que ficaram fora do alcance desta pesquisa como Bauru e toda a região norte do Estado do Paraná e parte do Mato Grosso do Sul.

6. REFERÊNCIAS

AB'SÁBER, A. N. Formações quaternárias em áreas de reverso de cuevas em São Paulo. *Geomorfologia - IGEOG/USP*, São Paulo, v. 16, 11 p., 1969.

ANAGNOSTOU, E. N.; KRAJEWSKI, W. F. Real-time radar rainfall estimation: algorithm Formulation. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, Boston, v. 16, p. 189-197, 1999.

ANTONIO, M. A. Radar estimates of areal rainfall in Alberta, Canada. In: CONGRESO OF THE COMS, i5, 1981, Edmonton. Edmonton: Canadian Meteorology and Oceanography Society, 1981. 7 p.

_____. *Técnica de ajuste em tempo real de medida de chuva com radar*. 1998. 156 p. Tese (Doutorado em Agronomia)–Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 1998.

BALASTREIRE, L. A. Potencial de utilização dos conceitos de agricultura de precisão na cultura da cana-de-açúcar. *Sociedade dos técnicos açucareiros e alcooleiros do Brasil*, Piracicaba, v. 16, n. 4, p. 22-26, 1998.

- BALASTREIRE, L. A. et al. *Agricultura de precisão: mapeamento da produtividade de uma cultura de café*. Barretos: GPS Global, 2000. Disponível em: <<http://www.ciagri.usp.br/~leia/resucafe.htm>>. Acesso em: 03 jan. 2005.
- BALASTREIRE, L. A. et al. *Agricultura de precisão: mapeamento da produtividade de uma cultura de laranja*. Barretos: GPS Global, 2000. Disponível em: <<http://www.gpsglobal.com.br/Artigos/Agricola/Laranja.html>>. Acesso em: 20 jul. 2001.
- BARNSTON, A. G. An empirical method of estimating raingage and radar rainfall measurements bias and resolution. *Journal of Applied Meteorology*, Boston, v. 30, p. 282-296, 1991.
- BATTAN, L. J. *Radar Meteorology*. Chicago: University of Chicago Press, 1959. 149 p.
- _____. *Radar observation of the atmosphere*. Chicago: University of Chicago Press, 1973. p. 141.
- BENETI, C. A. A. *Análise do conteúdo de água líquida integrado verticalmente para a previsão imediata do tempo*. 1991. 152 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia)– Universidade de São Paulo – IAG/SP, São Paulo, 1991.
- BLAKE, L. V. *Prediction of radar range*. New York: McGraw-Hill, 1970. p. 2-55. (Radar Handbook).
- BRANDES, E. A.; SIRMANS, D. Optimizing rainfall estimates with the aid of radar. *Journal of Applied Meteorology*, Boston, v. 14, p. 1339-1345, 1975.
- BRINGI, V. N.; TAIWEN, T.; CHANDRASEKAR, V. Evaluation of a new polarimetrically-turned Z-R relation. In: EUROPEAN CONFERENCE ON RADAR METEOROLOGY (ERAD), 2., 2002, Delft. *Proceedings...* Delft: ERAD, 2002. p. 217-221.
- CALHEIROS, R. V. *Resolução espacial de estimativas de precipitação com radar hidrometeorológico*. 1982. 229 p. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento)– Universidade de São Paulo, São Carlos, 1982.
- CALHEIROS, R. V.; ZAWADZKI, I. Reflectivity-rain rate relationships for radar hydrology in Brazil. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, Boston, v. 26, p. 118-132, 1987.
- CALVETTI, L.; BENETI, C.; PEREIRA FILHO, A. J. Integração do radar meteorológico DOPPLER do SIMEPAR e uma rede de pluviômetros para A estimativa da precipitação. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11., 2003, Belo Horizonte. *Anais...* Belo Horizonte: INPE, 2003. p. 1137-1144.
- CAMPOS, E. F.; ZAWADZKI, I. Z-R relations from independent measurements of raindrop size distributions. In: CONFERENCE ON RADAR METEOROLOGY, 29., 1999, Montreal. *Preprints...* Montreal: American Meteorological Society, 1999. p. 663-665.

- CHAUDHRY, F. H.; FILHO, A. G.; CALHEIROS, R. V. Statistics on tropical convective storms observed by radar. *Atmospheric Research*, Amsterdam, v. 42, n. 1, p. 217-227, 1996.
- CLIFT, G. A. *Use of radar in meteorology*. Geneva: World Meteorological Organization, 1985. 90 p. (Technical note, n. 181).
- COLLIER, C. G. *Applications of weather radar system*. Chichester: Ellis Horwood Limited, 1989.
- COLLIER, C. G.; LARKE, P. R.; MAY, B. R. A weather radar correction procedure for real-time estimation of surface rainfall. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, Berks, v. 109, p. 112-114, 1983.
- CRANE, R. K. Comparison between reflectivity statistics at heights of 3 and 6km and rain rate statistics at ground level. In: CONFERENCE ON RADAR METEOROLOGY, 16., 1975, Houston. *Preprints...* Houston: American Meteorological Society, 1975. p. 479-483.
- DAMANT, C. et al. Errors in the Thiessen technique for estimation area amounts using weather radar data. *Journal of Hydrology*, Amsterdam, v. 62, p. 81-94, 1983.
- DAY, J. E.; MARTNER, B. E. The relationship between radar reflectivity factor and hail at the ground for Northeast Colorado thunderstorms. *Journal of Applied Meteorology*, Boston, v. 17, p. 1335-1341, 1978.
- DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA DO ESTADO DE SÃO PAULO – DAEE. *Sistema integrado de gerenciamento de recursos hídricos de São Paulo*. São Paulo, 2005. Disponível em: <<http://www.sigrh.sp.gov.br/cgi-bin/bdhm.exe/plu>>. Acesso em: 20 dez. de 2005.
- DESSENS, J. A physical evaluation of a hail suppression project whit silver iodide ground burners in southwestern France. *Journal of Applied Meteorology*, Boston, v. 12, n. 37, p. 1588-1599, 1998.
- DUMOULIN, G.; COGOMBLES, A. A comparison of radar values of precipitation intensives and rainfall rate from a raingage. In: CONFERENCE ON RADAR METEOROLOGY, 10., 1966, Boston. *Preprints...* Boston: American Meteorological Society, 1966. p. 190-195.
- FALCONER, P. D. A radar-based climatology of thunderstorm days across New York State. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, Boston, v. 23, p. 1115-1120, 1984.
- FIGUEIREDO, J. C.; SUGAHARA, S. Classificação climática e o aspecto climatológico da cidade de Bauru. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 10., 1997, Piracicaba. *Anais...* Piracicaba: [s.n.], 1997.

FISER, O. Z-R (radar Reflectivity-Rain rate) relationships derived from Czech distrometer data. In: EUROPEAN CONFERENCE ON RADAR IN METEOROLOGY AND HYDROLOGY – ERAD, 3., 2004, Visby. *Proceedings...* Visby: [s.n.], 2004. p. 233-236.

GANDÚ, A. W. *Análise estatística de ecos de radar associados a precipitação na região leste do Estado de São Paulo*. 1984. 161 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia)–Instituto Astronômico e Geofísico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1984.

GOMES, A. M.; HELD, G. Determinação e avaliação do parâmetro densidade de VIL, para alerta de tempestades. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 13., 2004, Fortaleza. *Meteorologia e o desenvolvimento sustentável*. Fortaleza: [s.n.], 2004.

GROISMAN, P. Y.; DAVID R. L. The accuracy of United States precipitation data. *Bulletin of the American Meteorological Society*, Boston, v. 75, n. 3, p. 112-117, 1984.

HOLLEMAN, I. VPR adjustment using a dual CAPPI technique. In: EUROPEAN CONFERENCE ON RADAR METEOROLOGY (ERAD), 2., 2002, Delft. *Proceedings...* Delft: ERAD, 2002. p. 25-30.

JONES, D. M. A. *Rainfall drop-size distribution and radar reflectivity*. Research Report n. 6. Urbana: Meteorology Lab, Illinois State Water Survey, 1956. 20 p.

JOSS, J. et al. On the quantitative determination of precipitation by radar. *Wissenschaftliche Mitteilung*, Zurich, n. 63, p. 77-99, 1970.

JOSS, J.; GORI, E. G. Shapes of raindrop size distributions. *Journal of Applied Meteorology*, Boston, v. 17, p. 1054-1061, 1978.

KESSLER, E.; KATHRYN, G.; DOOLEY, J. T. Toward a quantitative radar echo climatology. In: CONFERENCE ON RADAR METEOROLOGY, 13., 1968, Canada. *Preprints...* Boston: American Meteorological Society, 1968. p. 280-285.

LISTEMAR, S.; BIGGERSTAFF, M. I. An improved scheme for convective/stratiform echo classification using radar reflectivity. In: CONFERENCE ON RADAR METEOROLOGY, 28., 1997, Boston. *Preprints...* Boston: American Meteorological Society, 1997. p. 274-275.

MACFARQUHAR, G. M.; LIST, R. The effect of curve fits for the distrometer calibration on raindrop spectra, rainfall rate, and radar reflectivity. *Journal of Applied Meteorology*, Boston, v. 32, p. 774-782, 1993.

MARCONI, S. G. Radio telegraphy. *Proc. IRE*, v. 21, p. 237, 1922.

MARSHALL, J. S.; PALMER, W. M. K. The distribution of raindrops with size. *Journal of Applied Meteorology*, Boston, v. 5, p. 165-166, 1948.

MILLER, J. R. A climatological Z-R relationship for convective storms in the northern Great Plains. In: CONFERENCE ON RADAR METEOROLOGY, 13., 1972, Illinois. *Preprints...* Boston: American Meteorological Society, 1972. p. 153-154.

NACCARATO, K. P.; PINTO Jr., O.; PINTO, I. R. C. A. Evidence of thermal and aerosol effects on the cloud-to-ground lightning density and polarity over large urban areas of southeastern Brazil. *Geophysical Research Letters*, Washington, v. 30, n. 13, p. 71-74, 2003.

PAVLYUKOV, Y. The use of radar and gauge accumulation datasets for the derivation of daily turned Z-R relationship. In: EUROPEAN CONFERENCE ON RADAR IN METEOROLOGY AND HYDROLOGY (ERAD), 2., 2002, Delft. *Proceedings...* Delft: ERAD, 2002. p. 363-367.

QUINTÃO, D. A. *Calibração de sistema de radar meteorológico através de dados distrométricos dos campos de chuva no nordeste leste do Brasil*. 2004. 101 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia)–Universidade Federal de Alagoas, Alagoas, 2004.

RINEHART, R. E. *Radar for meteorologists*. Columbia: Rinehart Publishing, 1991. 334 p.
_____. _____. 2. ed. Columbia: Rinehart Publishing, 1997. 427 p.

SALTIKOFF, E.; KOINSTINEN, J.; HOHTI, H. Experience of real time spatial adjustment of the Z-R Relation according to water phase of hydrometeors. *Physics and Chemistry of the Earth*, Oxford, v. 25, n. 10-12, p. 1017-1020, 2000.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria do Meio Ambiente. Instituto Geológico. *Portal do governo do estado de São Paulo*. Disponível em: <<http://www.igeologico.sp.gov.br/>>. Acesso em: 21 fev. 2005.

SAUVAGEOT, H. *Radar meteorology*. Nowood: Artech House, 1992. 366 p.

SEKHON, R. S.; SCRIVASTAVA, R. C. Doppler radar observations of drop-size distributions in the thunderstorm. *Journal of the Atmospheric Science*, Boston, v. 28, p. 983-994, 1971.

SHEPPARD, B. E. Effect of irregularities in the disdrometer classification of raindrops by the Joss-Waldvogel disdrometer. *Journal Atmospheric and Oceanic Technology*, v. 7, p. 240-183, 1990.

SHEPPARD, B. E.; JOE, P. I. Comparison of raindrop size distribution measurements by a Joss Waldvogel disdrometer, a PMS 2DG spectrometer, and a POSS Doppler radar. *Journal Atmospheric and Oceanic Technology*, v.11, 874-887, 1994.

SIGMET: *IRIS/Open user's manual*. 1995. p. 6-30.

- SKOLNIK, L. M. *Introduction to radar systems*. Singapore: McGraw-Hill International Book Company, 1980. 581 p.
- SOKOL, Z.; REZACOVA, D.; PESICE, P. Radar and rain gauge estimates of daily and hourly sums of precipitation for river basins in the Czech Republic. In: EUROPEAN CONFERENCE ON RADAR IN METEOROLOGY AND HYDROLOGY (ERAD), 2., 2002, Delft. *Proceedings...* Delft: ERAD, 2002. p. 233-236.
- SPIILHAUS, A. F. Raindrop size, shape and falling speed. *Journal of Applied Meteorology*, Boston, v. 5, p. 108-110, 1948.
- SPOSITO, M. E. B. *Capitalismo e urbanização*. 13. ed. São Paulo: Contexto, 2001. 80 p.
- STEINER, M.; SMITH, J. A.; UIJLENHOET, R. A microphysical interpretation of radar reflectivity-rain rate relationships. *Journal Atmospheric and Oceanic Technology*, v. 61, p. 1114-1131, 2004.
- TOKAY, A. et al. On the consistency of radar Z-R relations with parameterizations of the raindrop size distribution. In: CONFERENCE ON HYDROLOGY, 1995, Dallas. *Preprints...* Dallas: American Meteorological Society, 1995. p. 62-67.
- TOKAY, A.; SHORT, D. A. Evidence from tropical raindrop spectra of the origin of rain from stratiform versus convective clouds. *Journal of Applied Meteorology*, Boston, v. 35, n. 3, p. 355-371, 1996.
- U. S. NATIONAL WEATHER SERVICE, NOAA. *Weather Radar Manual, part B*. Washington: U. S. Govt. Office, 1967.
- WALDVOGEL, A. The N0 jump of raindrop spectra. *Journal of Atmospheric Science*, v. 31, p. 1067-1078, 1971.
- WALDVOGEL, A.; FEDERER, B.; GRIMM, P. Criteria for the detection of hail cells. *Journal of Applied Meteorology*, Boston, v. 18, n. 12, p. 1521-1525, 1979.
- WEXLER, R.; ATLAS, D. Radar reflectivity and attenuation of rainfall. *Journal Atmospheric Oceanic and Technology*, v. 2, p. 276-280, 1963.
- WILLIS, P. T. Functional fits to some observed drop size distributions and parameterization of rain. *Journal of Atmospheric Science*, v. 41, p. 1648-61, 1984.
- WILSON, J. W.; BRANDES, E. A. Radar measurements of rainfall. *Bulletin of the American Meteorological Society*, Boston, p. 1048-1058, 1979.
- YURI, H. M. *Gestão de risco de granizo pelo seguro e outras alternativas: Estudo de caso em pomares de maçã de Santa Catarina*. 2003. 145 p. Dissertação (Mestrado em Ciências - Economia Aplicada)-Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São

Paulo, São Paulo, 2003.

ZAWADZKI, I. On radar-raingage comparison. *Journal of Applied Meteorology*, Boston, v. 14, p. 1430-36, 1975.

ZAWADZKI, I.; ANTONIO, M.A. Equilibrium rain-drop size distributions in tropical rain. *Journal of Atmospheric Science*, v. 45, p. 3452-59, 1988.

ZAWADZKI, I. et al. A rain gage comparison. In: CONFERENCE ON RADAR METEOROLOGY, 23., 1986, Snowmass. *Preprints...* Boston: American Meteorological Society, 1986. v. 1, p. 121-124.

APÊNDICE 1**RECORDES HORÁRIO DE DBZ NOS MESES CHUVOSOS**

Tabela 10 – Recordes horário de dBZ nos meses chuvosos: novembro, dezembro e Janeiro, na região Central do Estado de São Paulo. Período: 1994-2004.

Hora	Novembro		Dezembro		Janeiro	
	dBZ	Ano	dBZ	Ano	dBZ	Ano
0	59	2004	60,0	1997	57,5	2000
1	57,5	2002	59,0	1999	57	1995
2	62	2002	58,0	2003	59	1995/2000
3	64	2002	58,5	1999	59,5	2000
4	67	2002	57,5	1994/2000	59,5	2000
5	63	1997/2002	62,5	2000	58	2000
6	59,5	1997	58,5	2000	58	2000
7	61	1994	61,5	2000	58	2000
8	57	1997	61,5	1997	58,5	2000
9	55,5	2002	56,5	2000	60	1995
10	57	2000	57,0	1998	58	1999
11	59,5	2000	58,5	1994/2002	57,5	2000
12	64,5	2000	60,5	2000	64	2000
13	65,5	2000	62,0	2000	61,5	2000/2004
14	65,5	2000	63,0	2000	60	2004
15	63	2000	64,0	2000	59,5	2004
16	66	2001	64,5	2000	62,5	1998
17	65,5	2001	62,0	1997	61	2002
18	65,5	2000/2001	61,0	1999	60	1995
19	62,5	2000	63,5	2004	59,5	1999
20	65,5	2000	63,0	1999	57	1998/1999
21	63	2000	65,0	2004	56,5	1995/1998/2002
22	62	2000	58,5	1999/2000	57,5	2000
23	60	2000	59,0	1997/2000	56,5	2002
Recorde	67		65		64	

Tabela 11 – Recordes horário de dBZ nos meses chuvosos: fevereiro e março, na região Central do Estado de São Paulo, Período: 1994-2004,

		Fevereiro		Março	
Hora	dBZ	Ano	dBZ	Ano	
0	55,5	1998/1999	68	1999	
1	60	2001	57	2000	
2	59,5	2001	59	2000	
3	60	2001	58	2001	
4	62	2001	54	1998/2003	
5	58	2003	57,5	2001	
6	62	1997	57,5	2001	
7	64	1997/1999/2003	54	2001	
8	56,5	2000	60	2001	
9	60	2001	61,5	2001	
10	59,5	1999	58,5	2001	
11	59	1997	57,5	2000	
12	62,5	2003	64	2000	
13	64,5	1997	61,5	2000	
14	60,5	1997	61	2001	
15	62,5	2004	63,5	2001	
16	64	2001	65,5	2001	
17	63,5	2001	63	2001	
18	64,5	2001	67	2001	
19	62,5	2001	61,5	1995/2001	
20	60	2003	63	2001	
21	63	1999	60,5	2001	
22	61,5	2002	57,5	1995/2000	
23	60,5	2002	60	2001	
Recorde	63		68		

APÊNDICE 2

SIGLAS E COORDENADAS DAS LOCALIDADES UTILIZADAS

Tabela 12 – Siglas e coordenadas das localidades utilizadas.

SIGLA	CIDADE	LATITUDE	LONGITUDE
*AGU	AGUDOS	-22,47	-48,98
*ALV	ALVILÂNDIA	-22,44	-49,77
*ANG	ANGATUBA	-23,49	-48,42
*ANHEMBI	ANHEMBI	-22,79	-48,13
*ARA=>	ARACATUBA	-21,21	-50,44
*ARAQ	ARARAQUARA	-21,8	-48,18
*ARAR	ARARAS	-22,36	-47,38
*ASB	ÀGUAS SANTA BARB,	-22,88	-49,25
*ASS=>	ASSIS	-22,61	-50,73
*AVAI	AVAI	-22,15	-49,34
*AVARE	AVARÉ	-23,1	-48,93
*AVS	ALVORADA	-22,78	-51,23
*BADYBASSITT	BADY BASSITT	-20,92	-49,44
*BALSAMO	BÁLSAMO	-20,73	-49,58
*BAR	BARIRI	-22,07	-48,74
*BARR	BARRETOS	-20,55	-48,58
*BB	BARRA	-22,5	-48,55
*BEB	BEBEDOURO	-20,95	-48,48
*BOF	BOFETE	-23,10	-48,25
*BOT	BOTUCATU	-22,89	-48,44
*BROT	BROTAS	-22,28	-48,12
*BU=>	BAURU	-22,35	-49,03
*BURI	BURI	-23,8	-48,6
*C=>	CAMPINAS	-22,90	-47,05
*CAMB	CAMBARA	-23,04	-50,07
*CAPBO	CAPÃO BONITO	-24,00	-48,35
*CAT	CATANDUVA	-21,13	-48,97
*CONCHAS	CONCHAS	-23,01	-48,01
*COSMOPOLIS	COSMÓPOLIS	-22,64	-47,19
*CPR	CORONEL	-23,17	-50,64
*ELIASFAUSTO	ELIAS FAUSTO	-23,04	-47,37
*GABM	GABRIEL	-21,53	-50,56
*GAL	GÁLIA	-22,29	-49,55
*GU	GUARARAPES	-21,25	-50,65
*GUA	GUARANTÃ	-21,81	-49,61
*GUP	GUAPIAÇU	-20,79	-49,22
*HOLAMBRA	HOLAMBRA	-22,63	-47,06
*HORTOLANDIA	HORTOLÂNDIA	-22,86	-47,22
*IBA	IBAITI	-23,85	-50,2
*INDAIATUBA	INDAIATUBA	-23,09	-47,22

Continuação

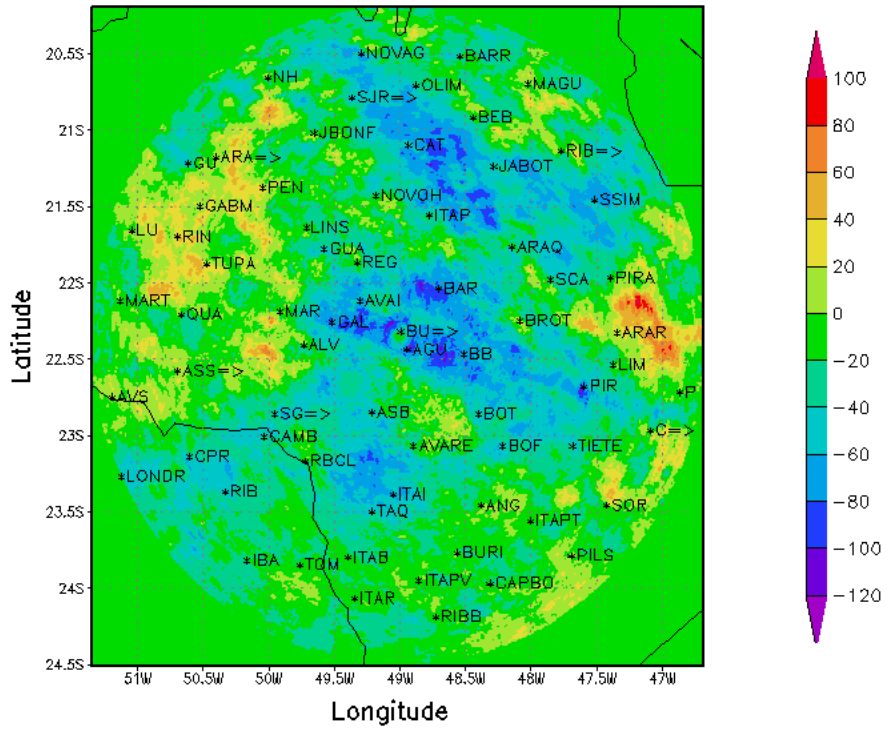
*PIGUA	IPIGUÁ	-20,65	-49,38
*ITAB	ITABERA	-23,83	-49,43
*ITAI	ITAI	-23,42	-49,09
*ITAP	ITAPOLIS	-21,59	-48,81
*ITAPT	ITAPETININGA	-23,59	-48,04
*ITAPV	ITAPEVA	-23,98	-48,89
*ITAR	ITARARÉ	-24,1	-49,38
*JABOT	JABOTICABAL	-21,27	-48,32
*JACI	JACI	-20,88	-49,57
*JBONF	JOSÉ BONIFÁCIO	-21,05	-49,69
*LIM	LIMEIRA	-22,57	-47,41
*LINS	LINS	-21,67	-49,75
*LONDR	LONDRINA	-23,3	-51,16
*LU	LUCÉLIA	-21,69	-51,08
*MAGU	MORRO AGUDO	-20,73	-48,06
*MAR	MARÍLIA	-22,22	-49,95
*MART	MARTINÓPOLIS	-22,15	-51,17
*MIRASSOL	MIRASSOL	-20,82	-49,51
*MOB	MOMBUCA	-22,93	-47,56
*MONTEAPR	MONTE APRAZÍVEL	-20,77	-49,71
*MONTEMOR	MONTE MOR	-22,95	-47,32
*NH	NHANDEARA	-20,69	-50,04
*NOVAG	NOVA	-20,53	-49,33
*NOVAODESSA	NOVA ODESSA	-22,78	-47,30
*NOVOH	NOVO HORIZONTE	-21,46	-49,22
*OLIM	OLÍMPIA	-20,74	-48,91
*OV	ONDA VERDE	-20,61	-20,61
*P	PEDREIRA	-22,75	-46,9
*PAULINIA	PAULÍNIA	-22,76	-47,15
*PEDREIRA	PEDREIRA	-22,75	-46,90
*PEN	PENAPOLIS	-21,41	-50,08
*PILS	PILAR	-23,82	-47,73
*PIR	PIRACICABA	-22,71	-47,63
*PIRA	PIRAÇUNUNGA	-22	-47,43
*QUA	QUATÁ	-22,24	-50,7
*RBCL	RIBEIRÃO CLARO (PR)	-23,2	-49,76
*REG	REGINÓPOLIS	-21,9	-49,36
*RIB	RIBEIRA	-23,4	-50,37
*RIB=>	RIBEIRAO BONITO	-21,17	-47,81
*RIBB	RIBEIRÃO BONITO	-24,22	-48,76
*RIC	RIO CLARO	-22,41	-47,53
*RIN	RINÓPOLIS	-21,73	-50,73
*RIOPEDRAS	RIO DAS PEDRAS	-22,84	-47,60
*SAOPEDRO	SÃO PEDRO	-22,55	-47,92

Continuação

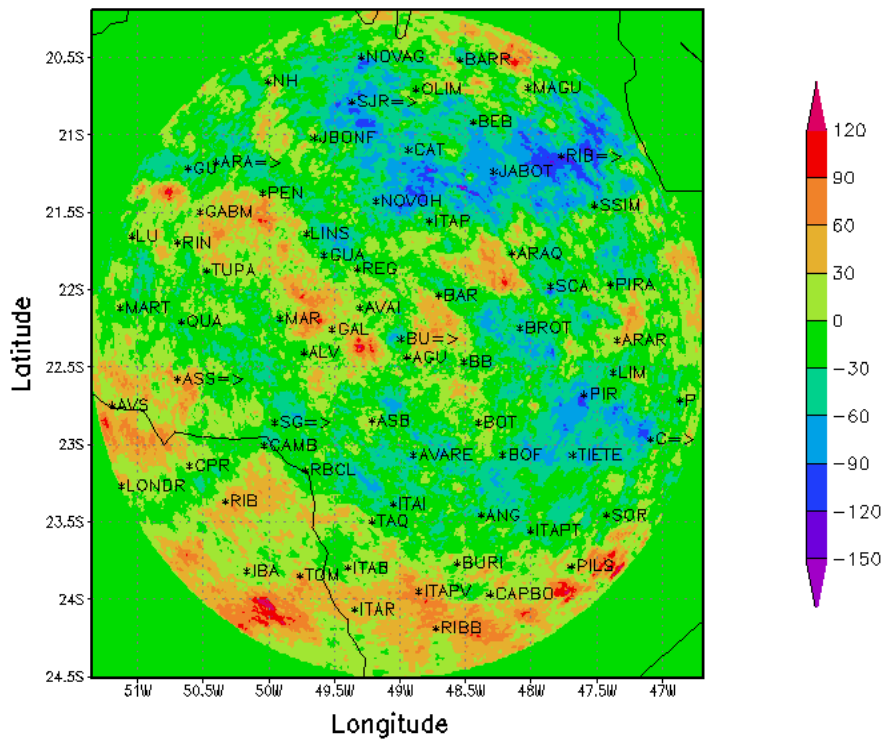
*SCA	SÃO CARLOS	-22,01	-47,89
*SG=>	SALTO GRANDE	-22,89	-49,99
*SJR=>	SÃO JOSÉ RIO PRETO	-20,82	-49,4
*SOR	SOROCABA	-23,49	-47,46
*SSIM	SÃO SIMÃO	-21,49	-47,55
*TAQ	TAQUARITUBA	-23,53	-49,25
*TIETE	TIETÊ	-23,1	-47,72
*TOM	TOMAZINA (PR)	-23,88	-49,8
*TUPA	TUPÃ	-21,91	-50,51
*VALINHOS	VALINHOS	-22,97	-47,00
*VINHEDO	VINHEDO	-23,03	-46,97

APÊNDICE 3

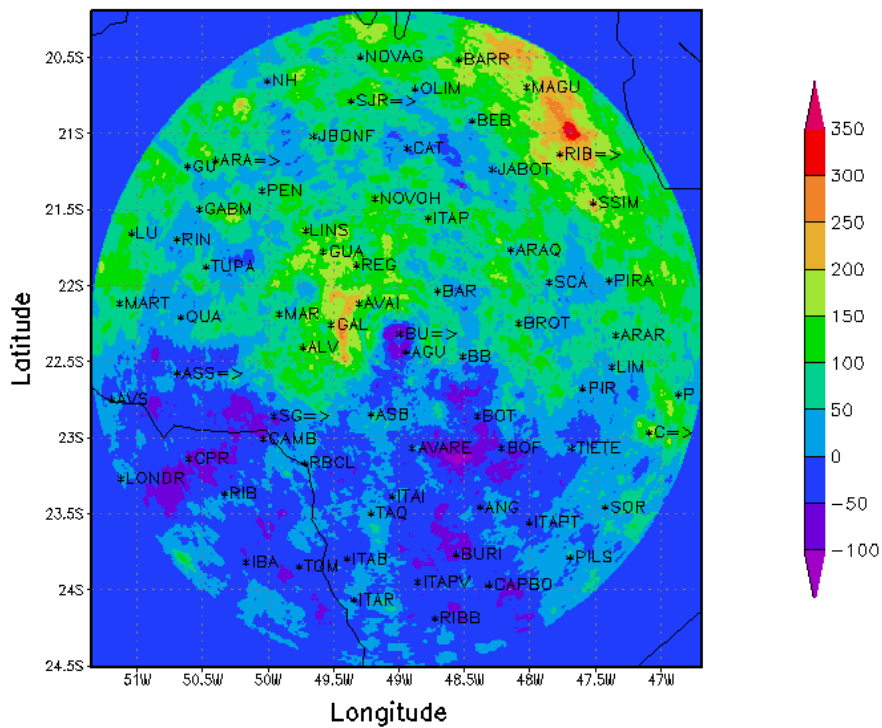
ANOMALIA DE CHUVA



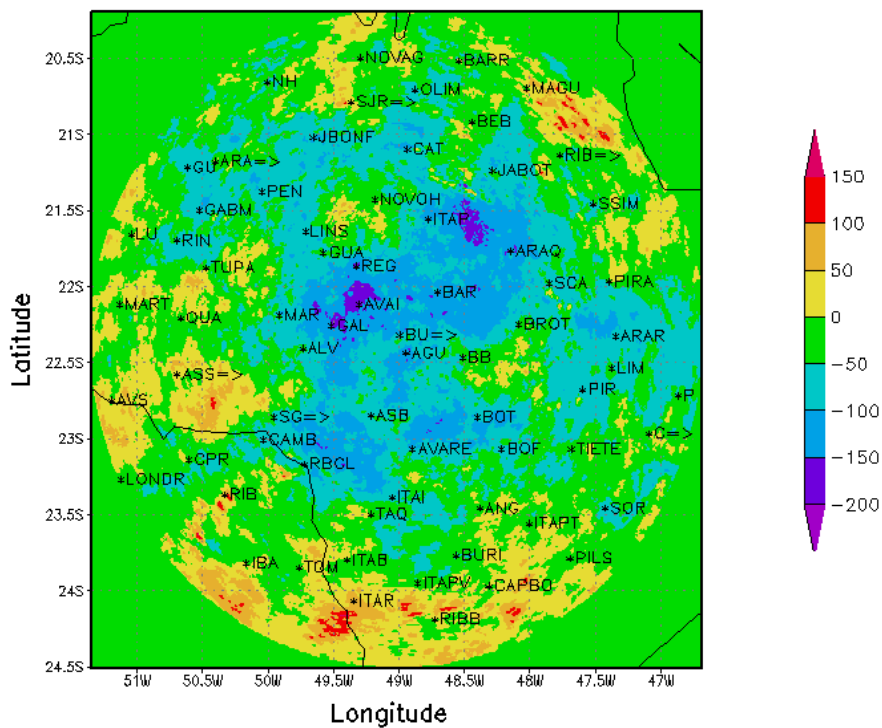
a)



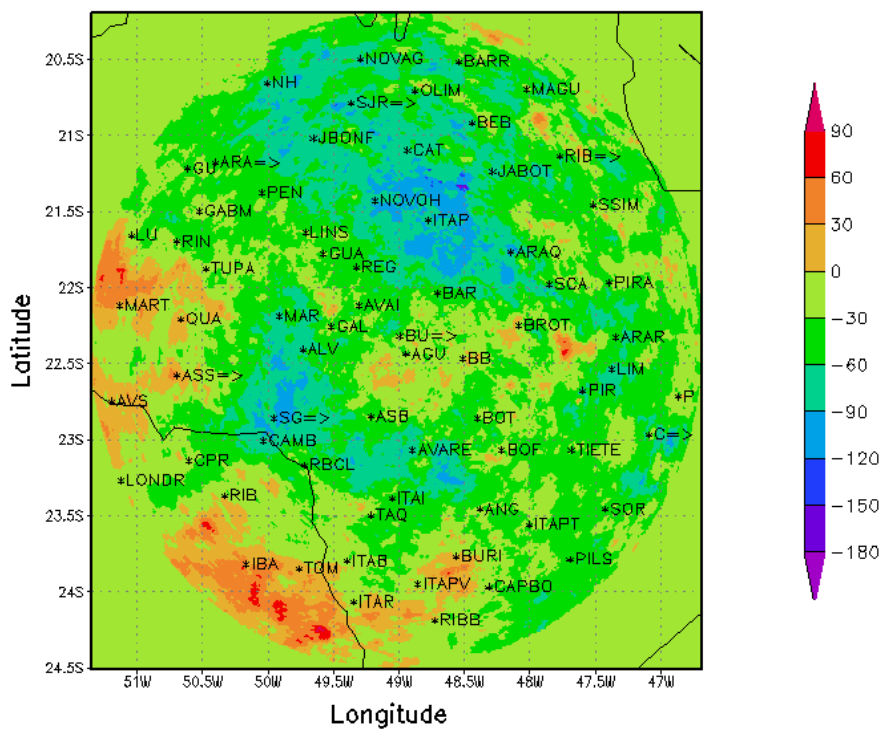
b)



c)



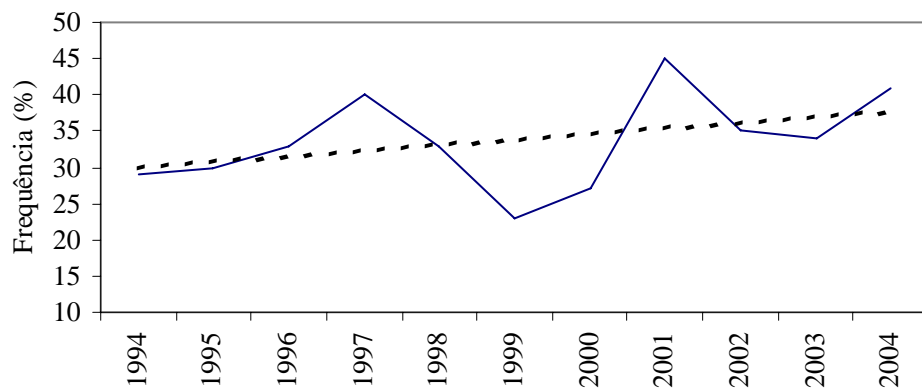
d)



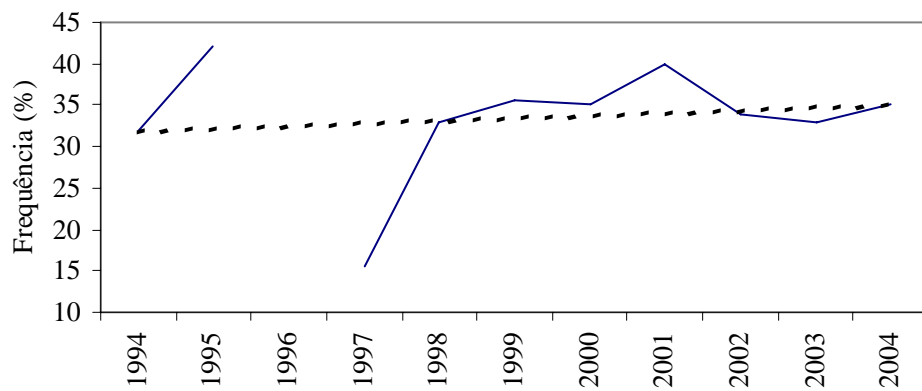
e)

Figura 34 – Anomalia de chuva (mm) nos meses de novembro (a), dezembro (b), janeiro (c), fevereiro (d) e março (e) de 2004.

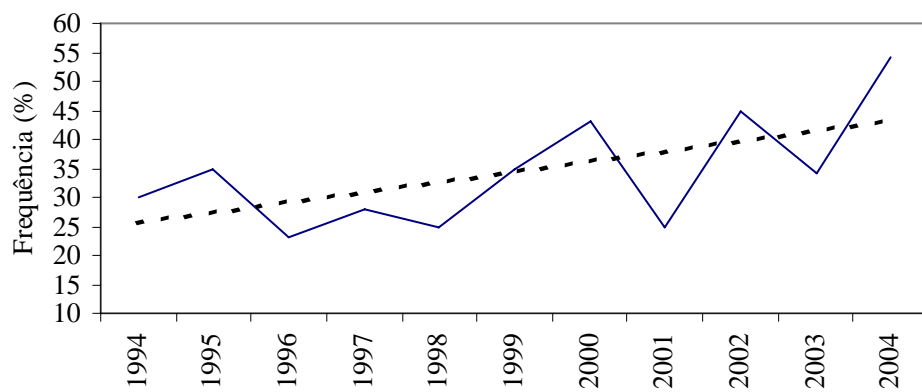
APÊNDICE 4**DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA DE ECOS (DBZ) PARA A CIDADE DE
CAMPINAS/SP**



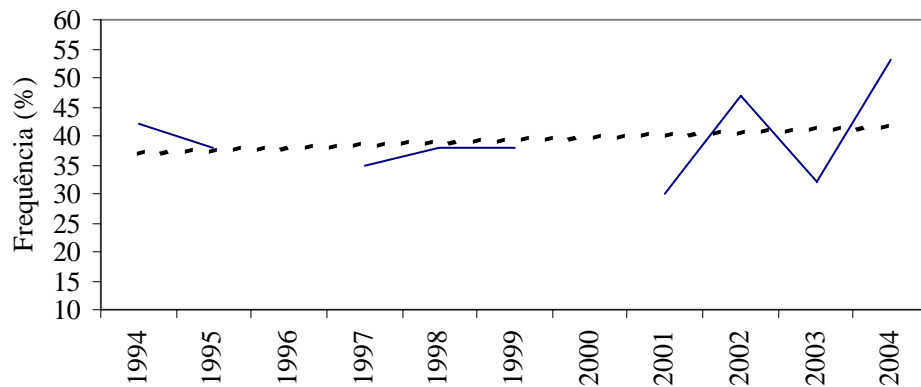
a)



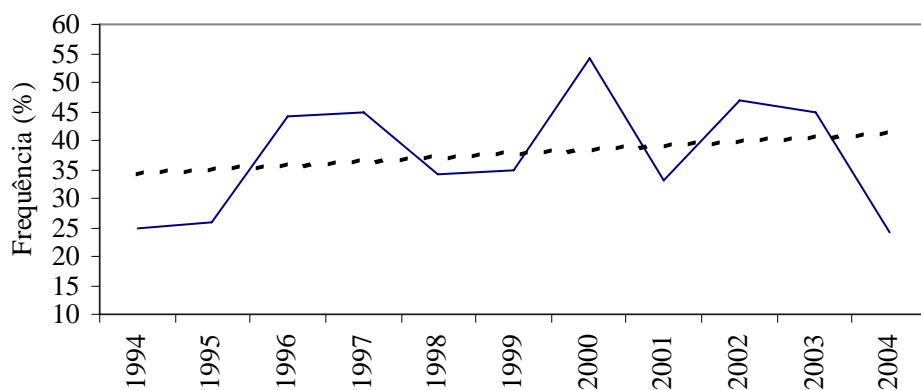
b)



c)

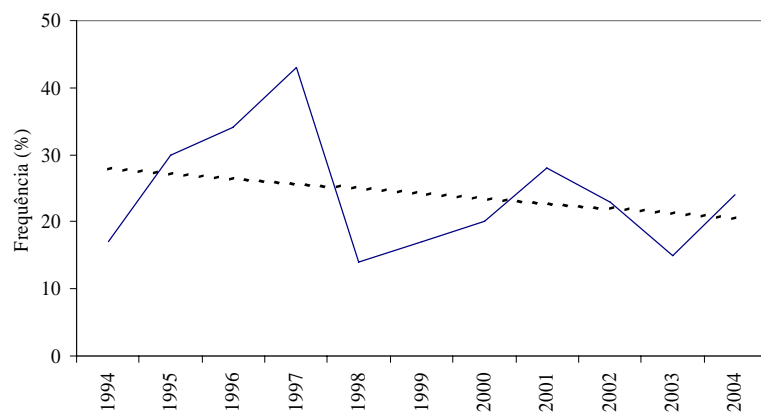


d)

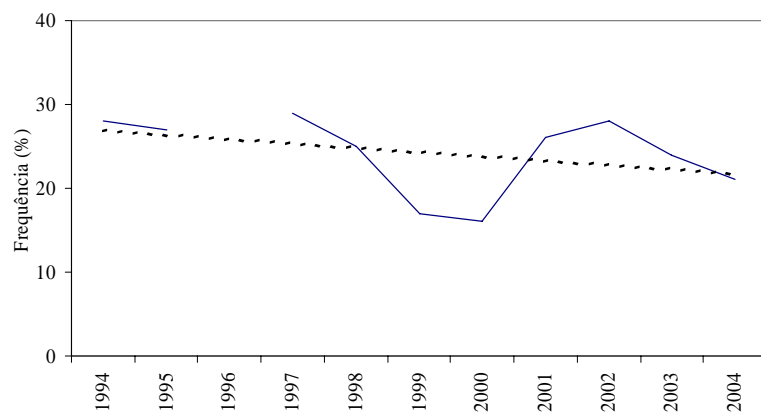


e)

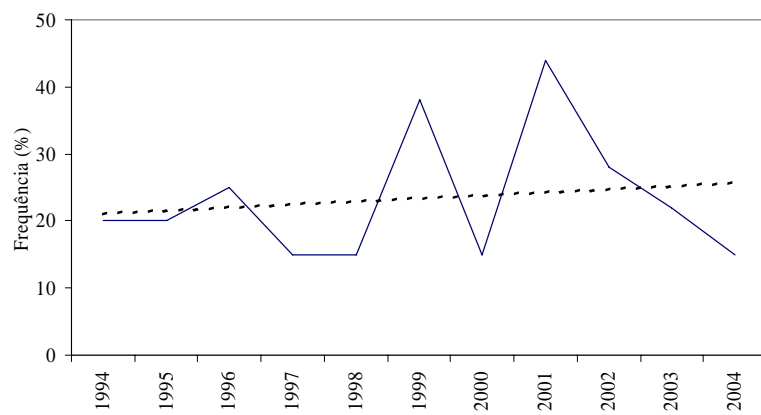
Figura 35 – Frequência (%) de ecos entre 15-20 dBZ para a cidade de Campinas, durante o período de 1994-2004, nos meses chuvosos: (a) novembro, (b) dezembro, (c) janeiro, (d) fevereiro e (e) março



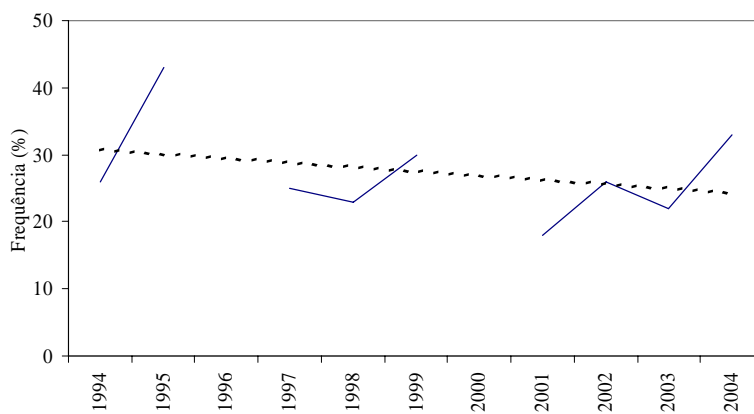
a)



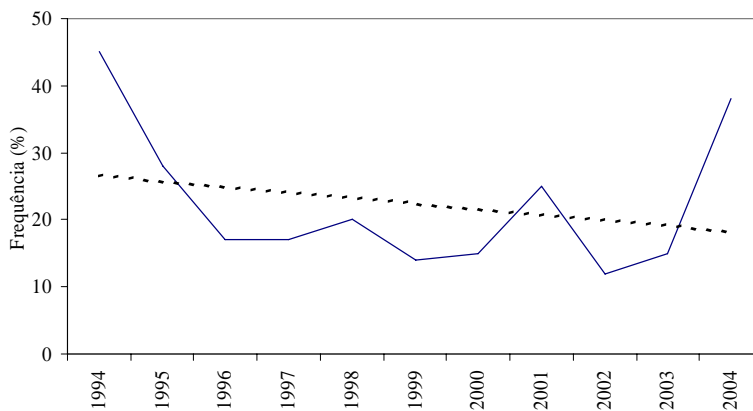
b)



c)

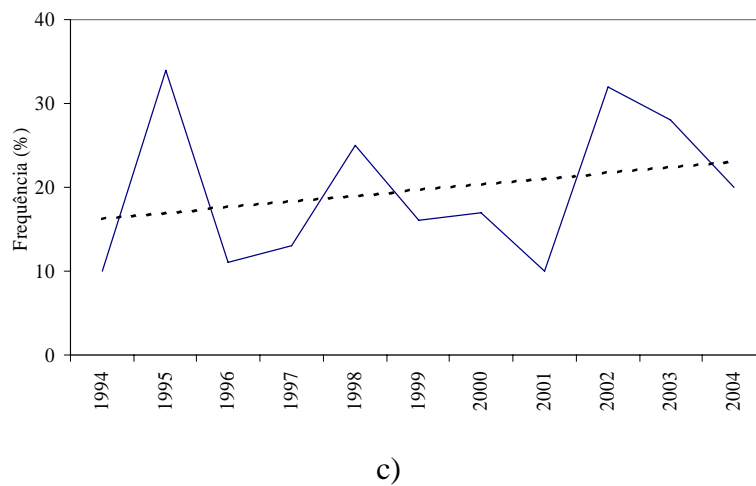
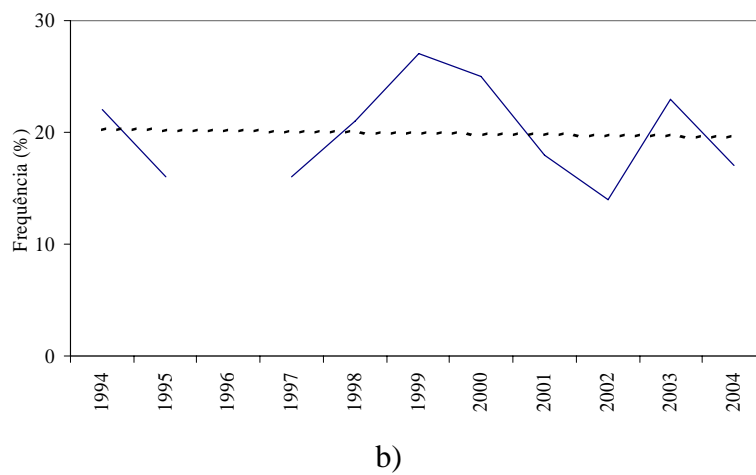
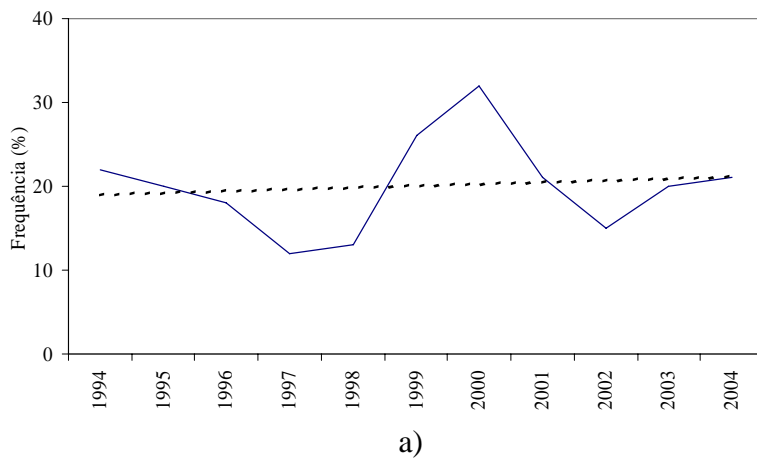


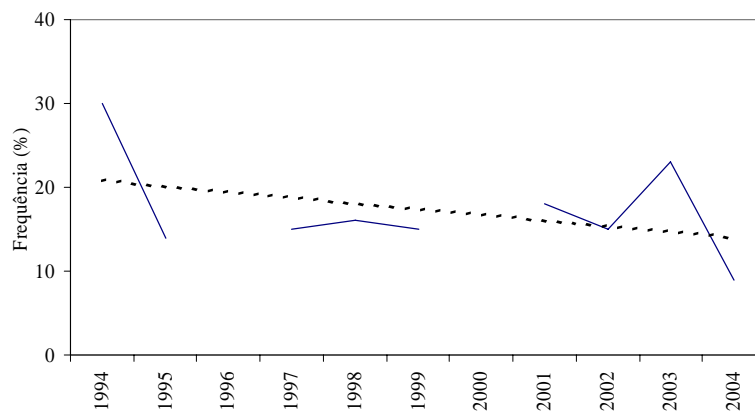
d)



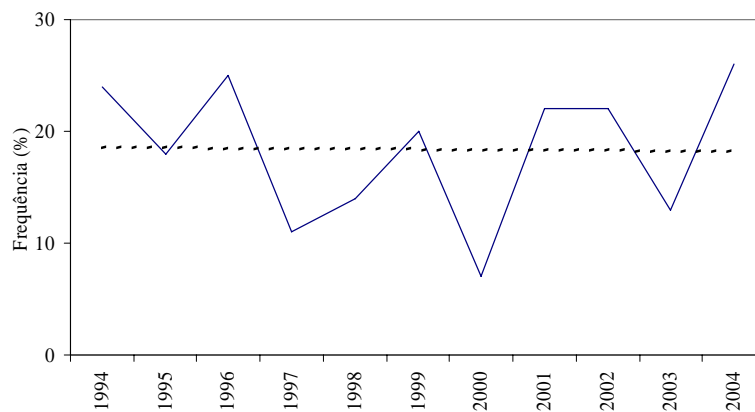
e)

Figura 36 – Frequência (%) de ecos entre 21-25 dBZ para a cidade de Campinas, durante o período de 1994-2004, nos meses chuvosos: (a) novembro, (b) dezembro, (c) janeiro, (d) fevereiro e (e) março



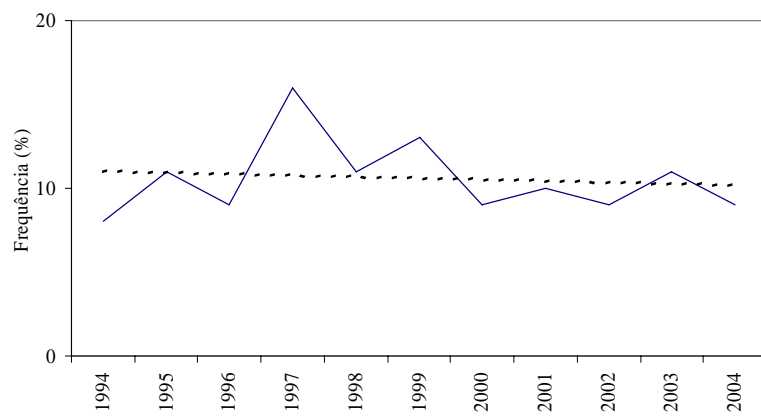


d)

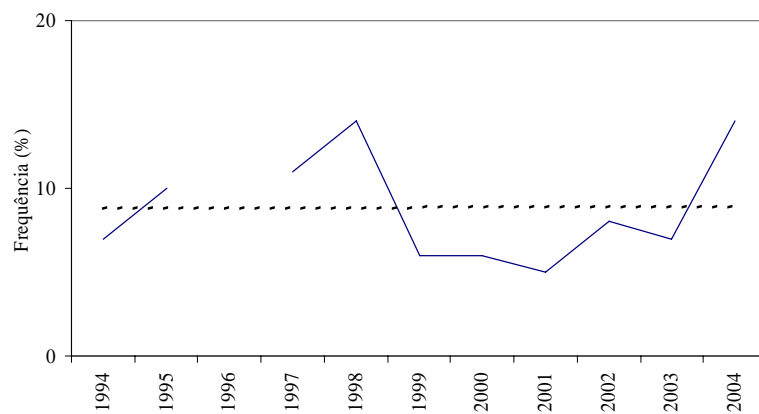


e)

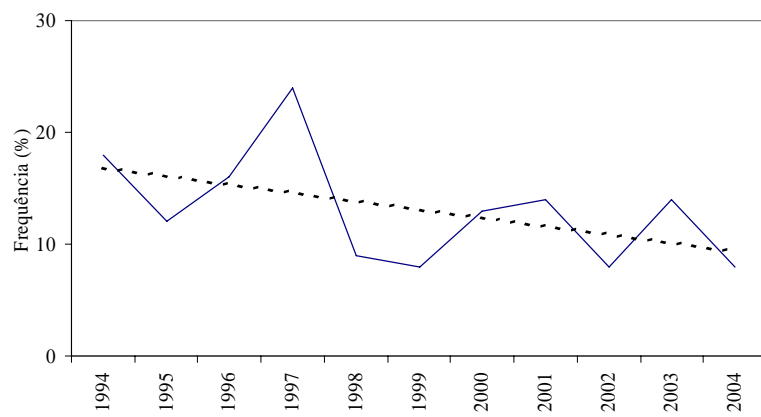
Figura 37 – Frequência (%) de ecos entre 26-30 dBZ para a cidade de Campinas, durante o período de 1994-2004, nos meses chuvosos: (a) novembro, (b) dezembro, (c) janeiro, (d) fevereiro e (e) março



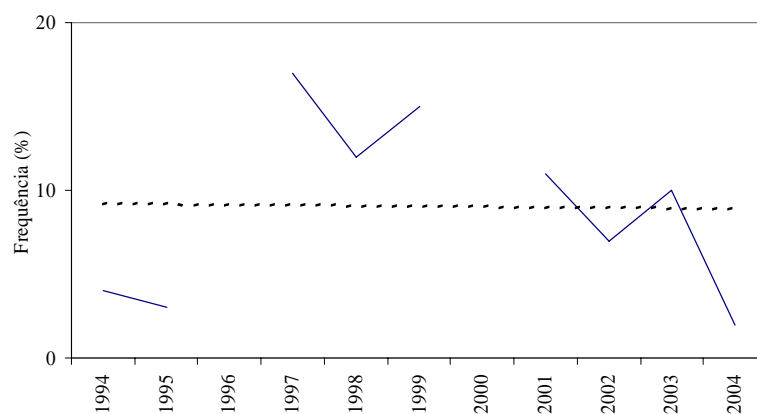
a)



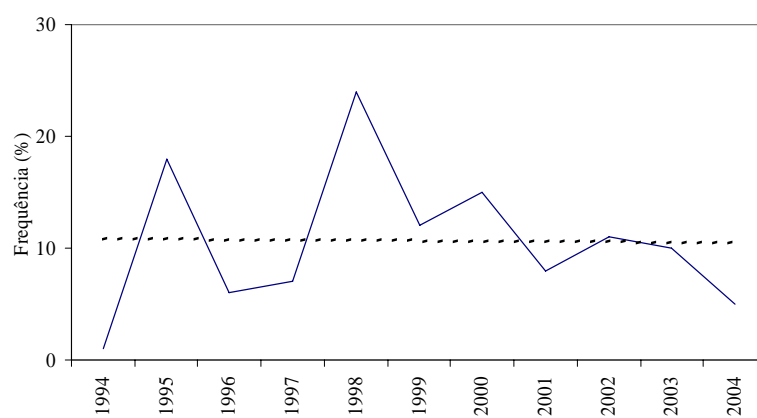
b)



c)

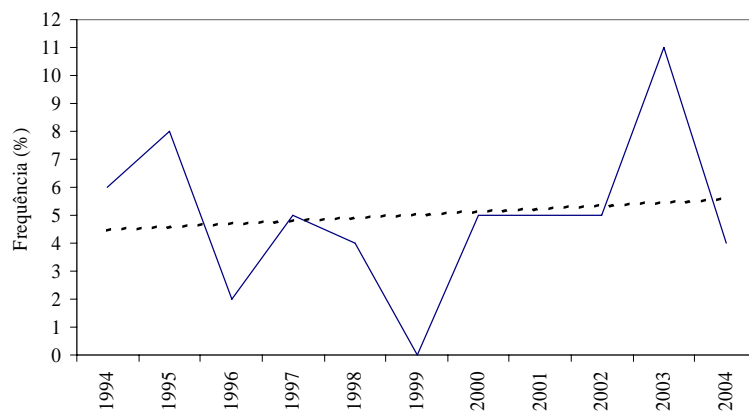


d)

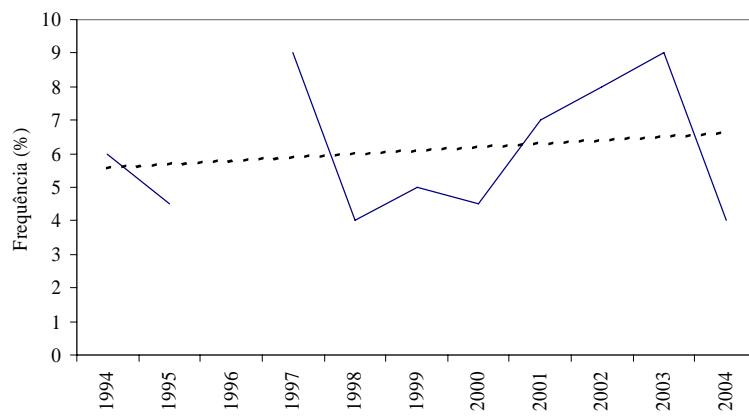


e)

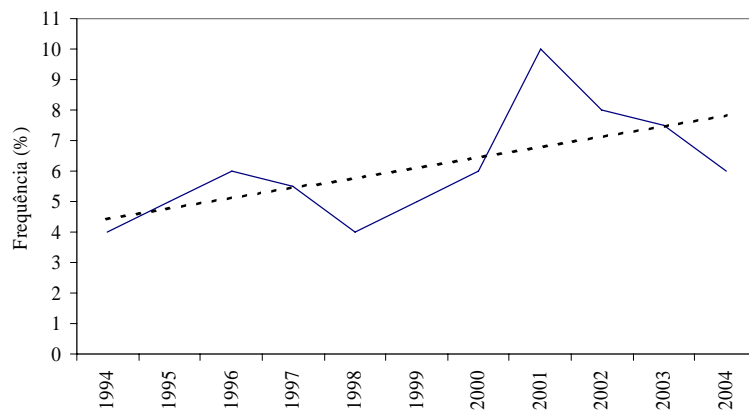
Figura 38 – Frequência (%) de ecos entre 31-35 dBZ para a cidade de Campinas, durante o período de 1994-2004, nos meses chuvosos: (a) novembro, (b) dezembro, (c) janeiro, (d) fevereiro e (e) março



a)



b)



c)

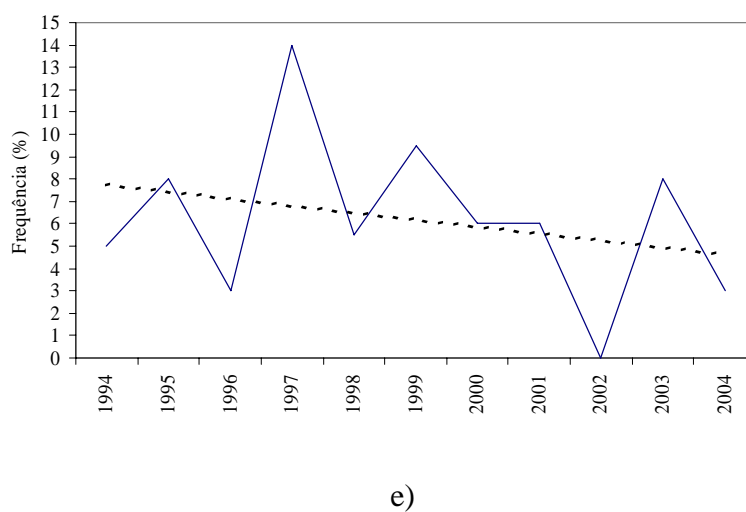
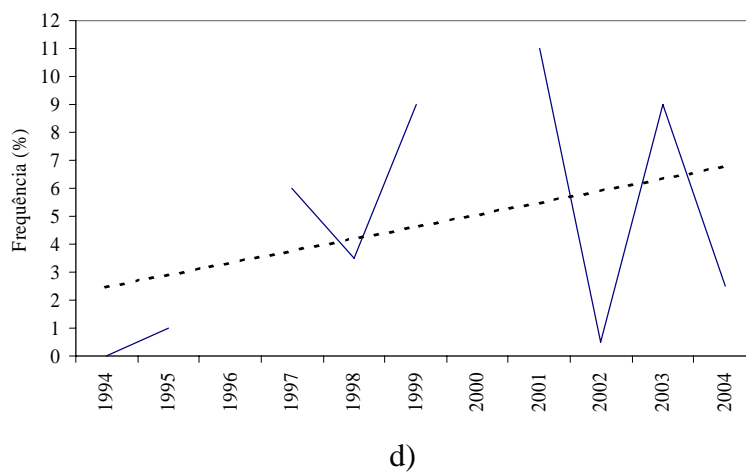
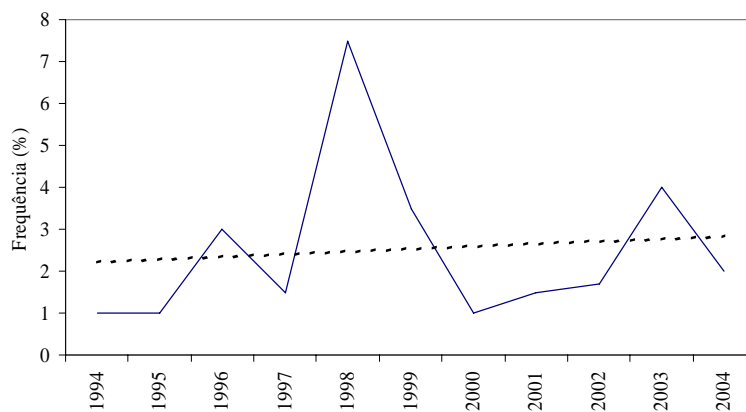


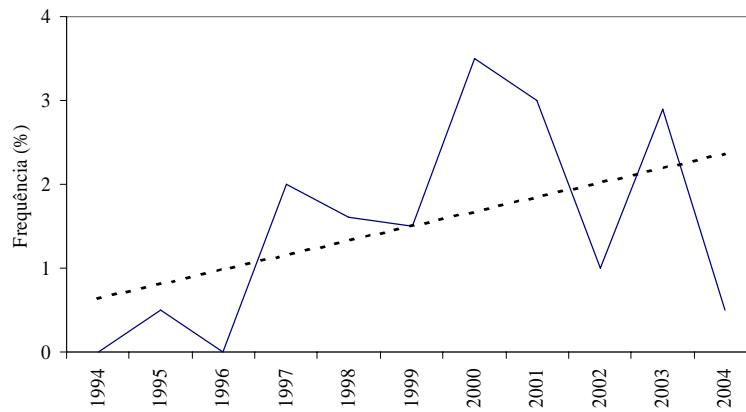
Figura 39 – Frequência (%) de ecos entre 36-40 dBZ para a cidade de Campinas, durante o período de 1994-2004, nos meses chuvosos: (a) novembro, (b) dezembro, (c) janeiro, (d) fevereiro e (e) março.



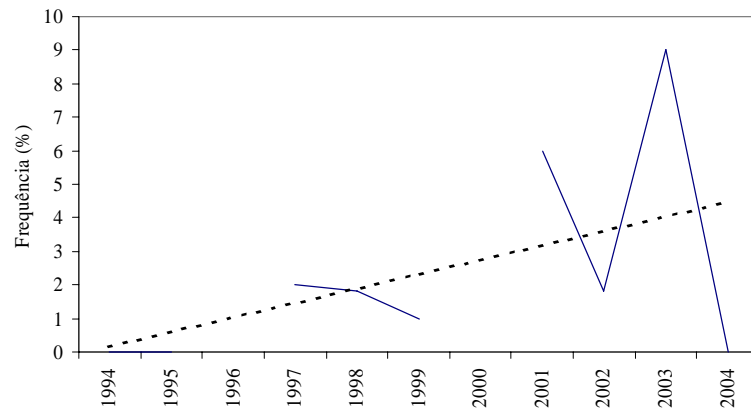
a)



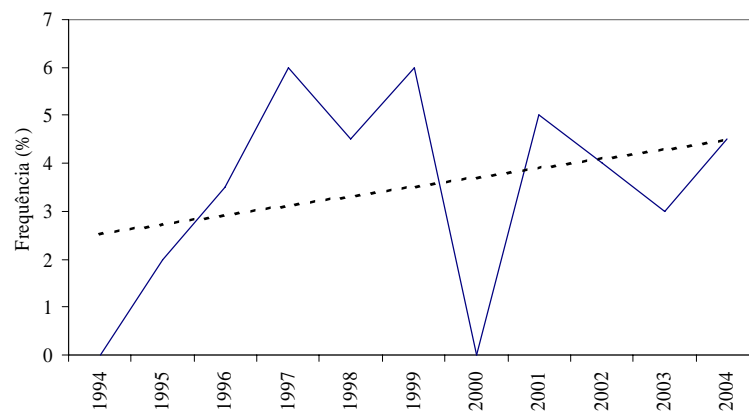
b)



c)

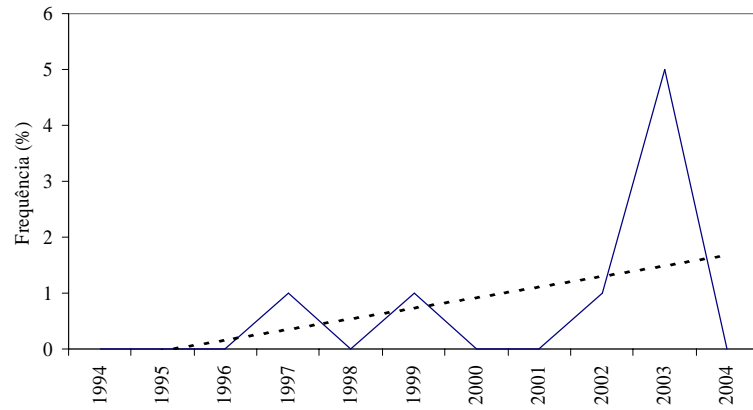


d)

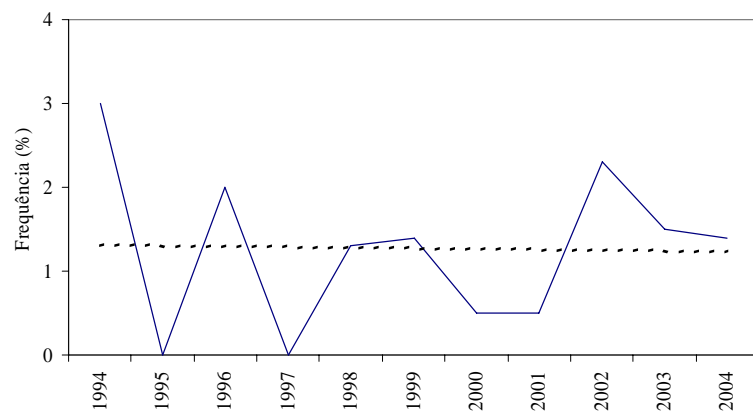


e)

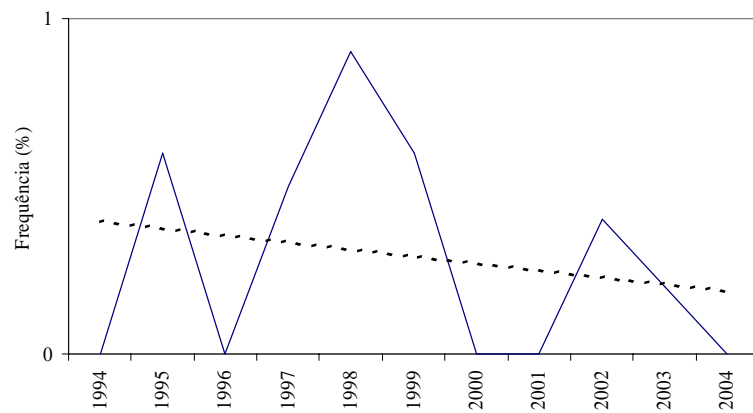
Figura 40 – Frequência (%) de ecos entre 41-45 dBZ para a cidade de Campinas, durante o período de 1994-2004, nos meses chuvosos: (a) novembro, (b) dezembro, (c) janeiro, (d) fevereiro e (e) março.



a)



b)



c)

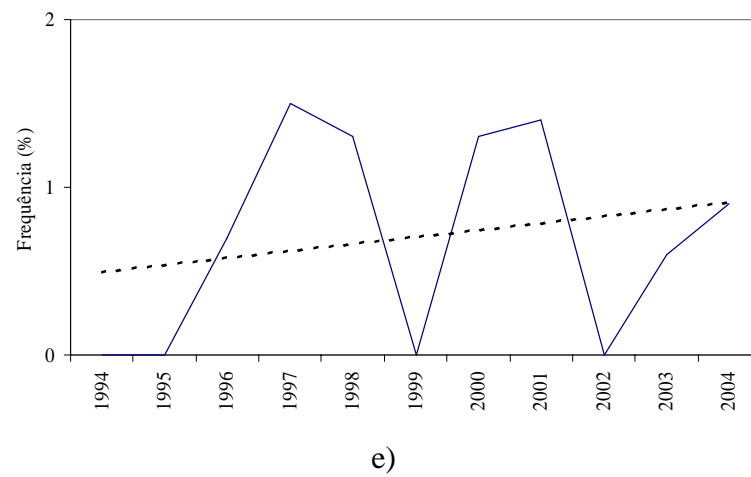
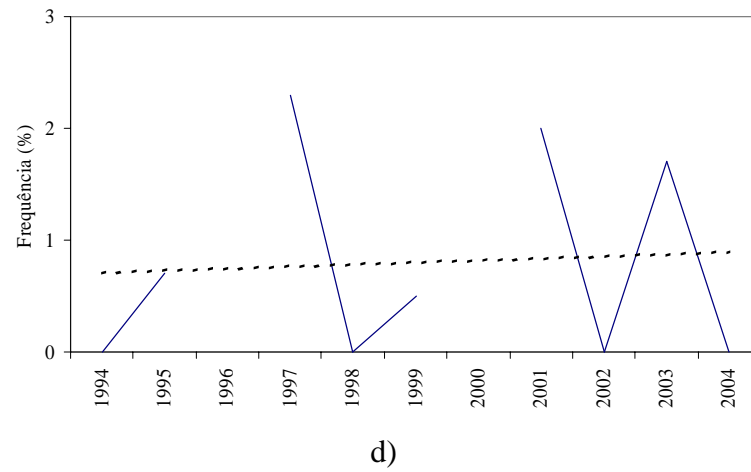
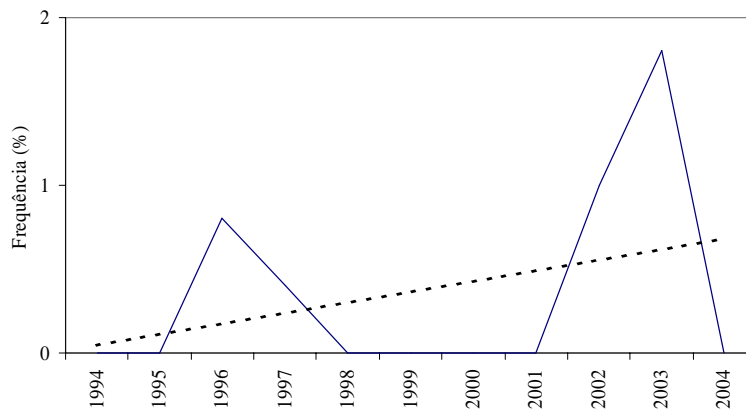
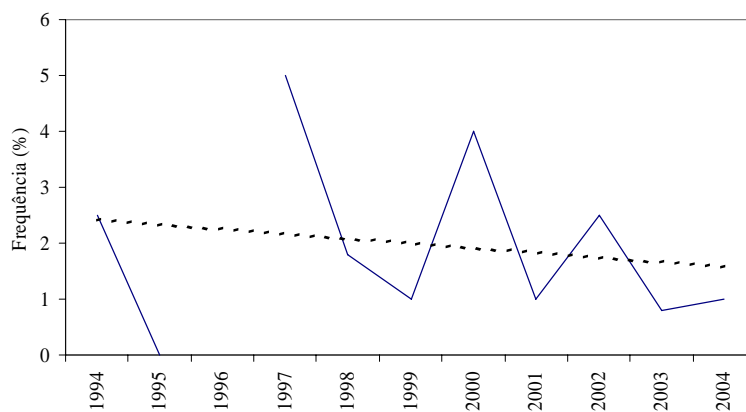


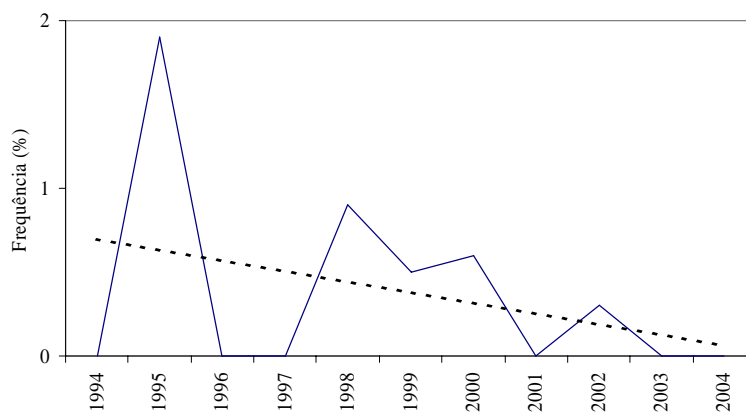
Figura 41 – Frequência (%) de ecos entre 46-50 dBZ para a cidade de Campinas, durante o período de 1994-2004, nos meses chuvosos: (a) novembro, (b) dezembro, (c) janeiro, (d) fevereiro e (e) março



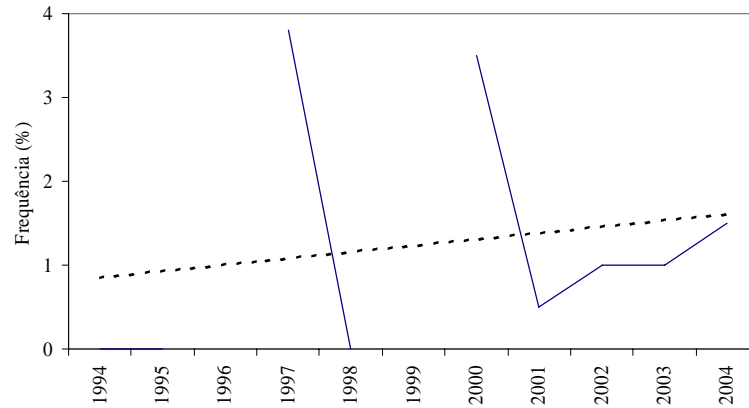
a)



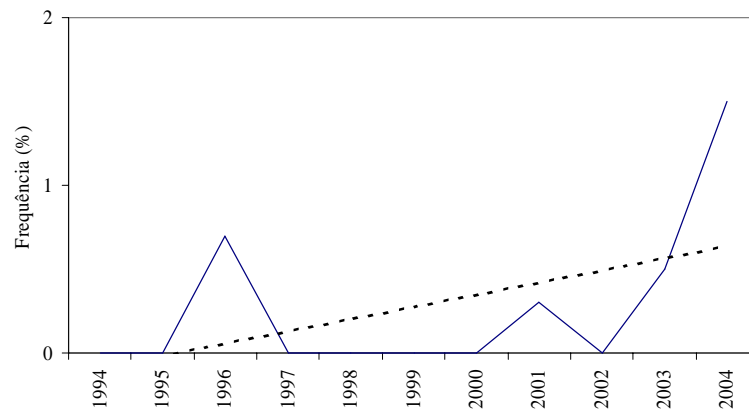
b)



c)



d)



e)

Figura 42 – Frequência (%) de ecos >50 dBZ para a cidade de Campinas, durante o período de 1994-2004, nos meses chuvosos: (a) novembro, (b) dezembro, (c) janeiro, (d) fevereiro e (e) março.

APÊNDICE 5

PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DO RADAR DE BAURU/SP

As principais características do radar de Bauru:

- Fabricante Enterprise Electronics Corp.
- Modelo: DWSR-88S
- Frequência: 2700 a 2900 MHz
- Potência de pico: 550 kW
- Comprimento de onda: 10,7 cm
- Largura de pulso: 2,0 microseg e 0,8 microseg
- Características da antena: tipo Parabolóide, com 3,66m de diâmetro, ganho de 38dB, feixe de 2,05° cônico.

APÊNDICE 6**PLUVIOMETRIA DE CIDADES SITUADAS NA REGIÃO CENTRAL DO ESTADO
DE SÃO PAULO.**

Tabela 13 – Total médio mensal de chuva de cidades situadas na região central do Estado de São Paulo.

Fonte: Departamento de Águas e Energia Elétrica – DAEE.

Cidade	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Período
Arealva	227,4	180,2	138,9	65,3	71,8	46,8	33,6	26,1	68,0	107,7	111,3	210,0	1970 - 1999
Avaí	200,5	159,8	142,9	63,9	58,5	43,6	29,7	25,7	53,0	105,3	105,5	167,2	1944 - 2004
Bastos	231,6	197,2	128,5	74,7	78,7	50,7	39,7	31,6	68,7	117,0	137,6	194,7	1946 - 2003
Bofete	250,4	208,2	170,4	74,9	89,0	59,8	41,6	38,0	79,5	127,3	136,8	218,3	1958 - 2004
Borborema	221,0	193,0	140,6	74,6	55,5	44,3	34,3	27,7	63,0	116,0	124,1	214,5	1957 - 1997
Brotas	208,6	181,6	129,4	61,5	52,4	34,6	25,2	23,6	55,0	100,3	135,2	181,4	1938 - 1998
Campinas	244,2	197,9	157,2	75,2	62,7	49,0	34,7	34,8	72,7	130,4	155,1	216,6	1931 - 2001
Chavantes	222,7	187,4	130,6	72,3	69,9	50,4	30,9	28,5	61,7	121,4	130,2	176,4	1943 - 2000
Dois Córregos	224,8	206,6	144,8	66,4	63,4	43,8	29,5	28,3	65,8	119,7	135,5	208,8	1936 - 1998
Garça	235,1	209,8	146,4	74,2	68,1	56,6	35,8	31,2	73,2	120,3	130,4	201,2	1939 - 2003
Gavião Peixoto	243,3	209,3	153,4	68,7	52,1	39,2	26,9	24,6	54,0	108,6	138,9	218,6	1936 - 2003
Guarantã	238,4	187,1	149,5	72,3	61,0	40,7	25,7	28,1	59,0	113,1	135,0	212,0	1959 - 2000
Guararapes	215,9	173,4	129,1	67,7	66,3	35,5	23,7	25,1	62,6	115,3	124,1	198,5	1963 - 2000
Iacanga	209,2	191,5	135,1	64,3	60,8	41,1	27,2	23,9	58,6	107,8	122,2	195,1	1938 - 1999
Ibitinga	216,1	194,2	139,1	65,5	48,5	38,6	23,3	22,0	59,2	120,7	138,8	186,8	1940 - 1999
Itaporanga	195,5	177,5	126,1	74,1	93,9	77,6	58,4	52,6	93,5	127,0	114,8	176,2	1959 - 2003
Itararé	202,1	156,7	140,6	72,3	100,0	89,1	69,7	61,9	119,7	132,1	111,7	180,5	1966 - 1998
Jaú	221,1	200,3	151,6	57,8	58,4	41,6	22,9	22,0	51,4	108,6	126,9	191,4	1936 - 1999
Óleo	199,6	191,4	146,0	73,5	70,4	66,1	46,6	37,7	79,2	126,4	124,0	184,9	1944 - 2004
Pardinho	230,9	203,7	157,6	76,9	81,6	57,3	43,9	34,4	77,2	121,4	133,1	187,3	1970 - 2004
Rinópolis	213,9	177,6	145,3	81,6	71,1	44,6	35,4	31,6	62,9	124,7	134,0	186,3	1946 - 1998
Rio Claro	234,2	205,4	148,6	65,0	61,7	38,3	28,5	28,1	62,0	123,1	143,4	210,3	1936 - 2004
Santa Bárbara do Oeste	214,0	190,9	142,5	68,4	63,0	49,3	34,8	33,1	69,4	121,8	143,5	201,9	1959 - 1996
São Carlos	283,2	229,2	196,6	80,3	60,0	34,4	26,7	29,6	74,3	148,6	202,2	310,5	1959 - 2004
São Pedro	225,4	189,7	145,9	69,2	60,6	44,5	26,1	27,2	62,9	114,7	133,5	189,9	1943 - 2000
Tatuí	216,1	173,3	149,4	60,9	68,3	46,7	44,1	34,7	70,5	118,9	106,9	172,1	1955 - 2004
Tupã	222,7	187,4	130,6	72,3	69,9	50,4	30,9	28,5	61,7	121,4	130,2	176,4	1943 - 2000
Total	6047,7	5160,3	3916,8	1894,0	1817,7	1314,4	929,9	840,7	1838,5	3219,7	3564,9	5367,7	

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)