UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

ESTIMATIVA DE PRECIPITAÇÃO EM REGIÕES TROPICAIS UTILIZANDO IMAGENS DO SATÉLITE GOES 12

ANA MARIA HEUMINSKI DE AVILA

CAMPINAS
JANEIRO DE 2006

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

ESTIMATIVA DE PRECIPITAÇÃO EM REGIÕES TROPICAIS UTILIZANDO IMAGENS DO SATÉLITE GOES 12

Tese de Doutorado submetida à banca examinadora para obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola, na área de concentração em Água e Solo.

ANA MARIA HEUMINSKI DE AVILA
Orientador: Prof. Dr. HILTON SILVEIRA PINTO

CAMPINAS
JANEIRO DE 2006

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP

Av55e

Avila, Ana Maria Heuminski de
Estimativa de precipitação em regiões tropicais utilizando imagens do satélite GOES 12 / Ana Maria Heuminski de Avila.--Campinas, SP: [s.n.], 2006.

Orientador: Hilton Silveira Pinto
Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola.

1. Meteorologia por satélite. 2. Estações meteorológicas. 3. precipitação (Meteorologia) - Previsão. 4. Pluviômetros. 5. Tempo (Meteorologia). I. Pinto, Hilton Silveira. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola. III. Título.

Titulo em Inglês: Rainfall estimation in tropical regions using GOES-12 satellite imagery
Palavras-chave em Inglês: Weather radar, Clouds temperatures, Rain gauge
Área de concentração: Água e Solo
Titulação: Doutora em Engenharia Agrícola
Banca examinadora: Jurandir Zullo Junior, Eduardo Delgado Assad, Mauricio de Agostinho Antônio, Maria Ângela Fagnani
Data da defesa: 24/02/2006

Para

minha mãe Zoé e

minha sobrinha e afilhada, a pequena Luíza.

Com amor

AGRADECIMENTOS

Ao Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura que me acolheu desde o início como bolsista e depois como profissional, oferecendo inúmeras oportunidades à minha capacitação.

Ao Prof. Dr. *Hilton Silveira Pinto* – pelo apoio, confiança e oportunidade de desenvolver esta pesquisa possibilitando trilhar novos caminhos na minha vida profissional.

Ao Prof. Dr. *Eduardo Delgado Assad e ao Prof.* Dr. *Jurandir Zullo Jr.*, pelo incentivo e colaboração.

À Faculdade de Engenharia Agrícola - FEAGRI da UNICAMP, pela oportunidade de realizar este trabalho;

À CAPES e ao CNPq - pelo incentivo financeiro.

Ao Dr. *Carlos Frederico Angel*, do Departamento de Satélites Ambientais do INPE pelo incentivo e esclarecimentos na área de sensoriamento remoto da atmosfera.

Ao Dr. *Mauricio de Agostinho Antônio* pelos esclarecimentos na área de radar meteorológico.

Ao Marcelo Narciso, da CNPTIA/EMBRAPA pelo programa utilizado para a integração dos dados.

À *Ana*, *Marta* e *Rosângela* da secretaria da Pós-graduação da FEAGRI, pela atenção, presteza e dedicação incansáveis.

Ao *Wander Pallone Filho* pelos programas em IDL.

Ao CPTEC/INPE, ao IPMet/UNESP, à ESALQ/USP, a UNESP e à COPERSUCAR pela cessão dos dados.

Aos amigos, colegas, estagiários e funcionários do CEPAGRI – *Edilene, Júlio César Esquerdo*, *Pedro Pontes*, *Luis Neri*, *Gláucia*, *Gustavo, Sergio*, *Claudir e Joaquim* pela convivência e auxílio.

Às amigas *Liane Weber e a Emília Hamada* pelo auxílio e compreensão.

À *Sandra*, amiga de todas às horas, pelo apoio, sem o qual seria muito difícil trilhar esse caminho.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS vi
LISTA DE FIGURAS vii
RESUMO xi
ABSTRACT xii
1. INTRODUÇÃO 1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 3
2.1. PROPRIEDADES FÍSICAS E ÓTICAS DAS NUVENS 3
2.2. PRECIPITAÇÃO 4
2.3. O SATÉLITE METEOROLÓGICO GOES 12 5
2.4. O GEORREFERENCIAMENTO 8
2.5. O RADAR METEOROLÓGICO 9
2.6. RADAR METEOROLÓGICO DO IPMet/UNESP 10
2.7. DIFICULDADES INERENTES À RELAÇÃO Z-R 11
2.8. MÉTODOS DE ESTIMATIVA DE PRECIPITAÇÃO 13
2.9. DIFICULDADES INERENTES À ESTIMATIVA DE PRECIPITAÇÃO POR SATÉLITE 20
2.10. ESTUDOS RELEVANTES SOBRE CARACTERÍSTICAS DE NUVENS 21
3. MATERIAL E MÉTODOS 25
3.1. ÁREA DE ESTUDO 25
3.2. DADOS 25
3.3. SELEÇÃO DOS DADOS 25
3.4. ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS 26
3.5. DADOS DO RADAR 27
3.6. O SATÉLITE GOES 28
3.7. INTEGRAÇÃO DOS DADOS 28
3.8. MODELO DE REFLETIVIDADE DO RADAR E PRECIPITAÇÃO (Z – R) 29
3.9. MODELO DE REFLETIVIDADE DO RADAR E TEMPERATURA DE BRILHO DO SATÉLITE 30

3.10. MODELO DE AJUSTE ENTRE TEMPERATURA DE BRILHO E PLUVIÔMETRO 30
3.11. IDENTIFICAÇÃO DE NUVENS CIRRUS 30
3.12. VERIFICAÇÃO DA PERFORMANCE DO MODELO DE ESTIMATIVA DE PRECIPITAÇÃO, TENDO COMO REFERÊCIA A REFLETIVIDADE DO RADAR 31
4. RESULTADOS 33
4.1. MODELOS UTILIZANDO DADOS INTEGRADOS EM 6 HORAS 33
4.2. REFLETIVIDADE E TEMPERATURA DE BRILHO 33
4.3. REFLETIVIDADE E PRECIPITAÇÃO (Z – R) 39
4.4. PRECIPITAÇÃO E TEMPERATURA DE BRILHO 43
4.5. INTERVALO ACUMULADO DE 1 HORA 49
4.5.1. AJUSTE ENTRE REFLETIVIDADE E TEMPERATURA DE BRILHO 49
4.5.2. AJUSTE ENTRE REFLETIVIDADE E PRECIPITAÇÃO (Z – R) 56
4.5.3. TEMPERATURA DE BRILHO E PRECIPITAÇÃO 60
4.6. SÍNTESE DOS MÉTODOS 65
4.7. IDENTIFICAÇÃO DE NUVENS CIRRUS 67
4.8. VERIFICAÇÃO DO MODELO ENTRE REFLETIVIDADE E PRECIPITAÇÃO 68
4.9. RELAÇÃO ENTRE A REFLETIVIDADE E A PRECIPITAÇÃO OBTIDAS NOS DIFERENTES HORÁRIOS DO DIA 72
4.10. VERIFICAÇÃO DO MODELO PARA ESTIMATIVA DE PRECIPITAÇÃO A PARTIR DE UMA TEMPERATURA LIMIAR DO SATÉLITE 75
5. DISCUSSÃO E CONCLUSÕES: 79
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 81
7. APÊNDICES 85

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Principais características dos canais espectrais disponíveis no satélite GOES-12. 5
Tabela 2. Técnica de estimativa de precipitação, sensor do satélite GOES utilizado e dificuldade em implantação. 24
Tabela 3. Estações meteorológicas, coordenadas geográficas e fonte fornecedora dos dados. 26
Tabela 4. Modelo da tabela de contingência 31
Tabela 5. Síntese dos métodos com dados em 6 horas. 66
Tabela 6. Síntese dos métodos com dados em 1 hora. 66
Tabela 7. Tabela de contingência utilizando temperatura de brilho do canal 4 igual ou inferior a 239K e refletividade igual ou maior do que 20dBZ. 77
Tabela 8. Tabela de contingência utilizando temperatura de brilho do canal 4 igual ou inferior a 233K e refletividade igual ou maior do que 20dBZ 77
Tabela 9. Tabela de contingência utilizando temperatura de brilho do canal 4 igual ou inferior a 225K e refletividade igual ou maior do que 20dBZ. 78

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização do Radar Meteorológico de Bauru e área de abrangência qualitativa e.quantitativa da precipitação (Fonte: IPMet/UNESP). 11
Figura 2. Relação entre a taxa de precipitação obtida por radar e a temperatura de brilho do canal 4. Fonte: VICENTE et al. (1998). 18
Figura 3. Totais diários de precipitação que foram utilizados neste estudo. 26
Figura 4. Imagem tipo CAPPI com a localização do Radar Meteorológico de Bauru, área de cobertura quantitativa, 240km. 27
Figura 5. Fluxograma do sistema de estimativa de precipitação por meio do canal 4 do GOES. 32
Figura 6. Curva de ajuste entre a temperatura de brilho do canal 4 e refletividade no período de 6 horas para o conjunto das quatro estações meteorológicas. 34
Figura 7. Curva de ajuste entre a temperatura de brilho do canal 4 e refletividade para período de 6 horas, estação meteorológica de Piracicaba. 35
Figura 8. Curva de ajuste entre a temperatura de brilho do canal 4 e refletividade para período de 6 horas, estação meteorológica de Jaboticabal. 36
Figura 9. Curva de ajuste entre a temperatura de brilho do canal 4 e refletividade para período de 6 horas, estação meteorológica da ESALQ. 37
Figura 10. Curva de ajuste entre a temperatura de brilho do canal 4 e refletividade para período de 6 horas, estação meteorológica de Pradópolis. 38
Figura 11. Curva de ajuste entre refletividade e precipitação para o período de 6 horas para o conjunto das quatro estações meteorológicas. 39
Figura 12. Curva de ajuste entre refletividade e precipitação para o período de 6 horas, estação meteorológica de Piracicaba. 40
Figura 13. Curva de ajuste entre refletividade e precipitação para o período de 6 horas, estação meteorológica de Jaboticabal. 41
Figura 14. Curva de ajuste entre refletividade e precipitação para o período de 6 horas, estação meteorológica da ESALQ. 42
Figura 15. Curva de ajuste entre refletividade e precipitação para o período de 6 horas, estação meteorológica de Pradópolis. 43

Figura 16. Curva de ajuste entre precipitação e temperatura de brilho do canal 4 para o período de 6 horas para o conjunto das quatro estações meteorológicas.....44
Figura 17. Curva de ajuste entre precipitação e temperatura de brilho para o período de 6 horas para o conjunto das quatro estações meteorológicas. 45
Figura 18. Curva de ajuste entre precipitação e temperatura de brilho para o período de 6 horas, estação meteorológica de Piracicaba. 46
Figura 19. Curva de ajuste entre precipitação e temperatura de brilho para o período de 6 horas, estação meteorológica de Jaboticabal. 47
Figura 20. Curva de ajuste entre precipitação e temperatura de brilho do canal 4 para o período de 6 horas, estação meteorológica da ESALQ. 48
Figura 21. Curva de ajuste entre precipitação e temperatura de brilho do canal 4 para o período de 6 horas, estação meteorológica de Pradópolis. 49
Figura 22. Curva de ajuste entre temperatura de brilho do canal 4 e refletividade do radar para período horário para o conjunto das quatro estações meteorológicas. 50
Figura 23. Curva de ajuste entre temperatura de brilho e refletividade para período horário, estação meteorológica de Piracicaba. 51
Figura 24. Curva de ajuste entre temperatura de brilho do canal 4 e refletividade para período horário, estação meteorológica de Jaboticabal. 52
Figura 25. Curva de ajuste entre temperatura de brilho do canal 4 e refletividade para período horário, estação meteorológica da ESALQ. 53
Figura 26. Curva de ajuste entre temperatura de brilho do canal 4 e refletividade para período horário, estação meteorológica de Pradópolis. 54
Figura 27. Temperatura de brilho do canal 4, dia 09/12/2003, às 10h40GMT. 54
Figura 28. Precipitação estimada pelo modelo utilizando-se os dados integrados no período de 6h (a), no período de 1h (b) e (c) pelo método de MARSHALL & PALMER (1948), para o dia 09/12/2003. 55
Figura 29. Curva de ajuste entre refletividade e precipitação para períodos horários para as quatro estações em estudo. 56
Figura 30. Curva de ajuste entre refletividade e precipitação para períodos horários, estação meteorológica de Piracicaba. 57

Figura 31. Curva de ajuste entre refletividade e precipitação para períodos horários, estação meteorológica de Jaboticabal. 58
Figura 32. Curva de ajuste entre refletividade e precipitação para períodos horários, estação meteorológica da ESALQ.....59
Figura 33. Curva de ajuste entre refletividade e precipitação para períodos horários, estação meteorológica de Pradópolis. 60
Figura 34. Curva de ajuste entre precipitação e temperatura de brilho do canal 4 para período horário para o conjunto das quatro estações meteorológicas. 61
Figura 35. Curva de ajuste entre precipitação e temperatura de brilho do canal 4 para período horário, estação meteorológica de Piracicaba.....62
Figura 36. Curva de ajuste entre precipitação e temperatura de brilho do canal 4 para período horário, estação meteorológica de Jaboticabal. 63
Figura 37. Curva de ajuste entre precipitação e temperatura de brilho do canal 4 para período horário, estação meteorológica da ESALQ. 64
Figura 38. Curva de ajuste entre precipitação e temperatura de brilho do canal 4 para período horário, estação meteorológica de Pradópolis. 65
Figura 39. Refletividade observada no radar e a diferença entre os canais 3 e 4 do satélite.....67
Figura 40. Relação entre a precipitação observada nos pluviômetros e estimada pelo método utilizando a integração em 6 horas. 68
Figura 41. Relação entre a precipitação observada nos pluviômetros e estimada pelo método utilizando a integração em 1 hora.....69
Figura 42. Relação entre a precipitação observada nos pluviômetros e estimada pelo método de MARSHALL & PALMER (1948). 70
Figura 43. Precipitação estimada para 09/12/2003, às 05h 08 min, pelos métodos:(a) utilizando integração em 6h, (b) utilizando integração em 1h e (c) pelo método de MARSHALL & PALMER (1948). 71
Figura 44. Relação entre refletividade obtida pelo radar e precipitação para o horário entre 0h e 6h. 72
Figura 45. Relação entre refletividade obtida pelo radar e precipitação para o horário entre 6h e 12h. 73

Figura 46. Relação entre refletividade obtida pelo radar e precipitação para o horário entre 12h e 18h. 74
Figura 47. Relação entre refletividade obtida pelo radar e precipitação para o horário entre 18h e 24h. 75

RESUMO

Das variáveis que compõem o balanço hídrico, a precipitação é, certamente, o fator natural determinante da produção agrícola no país. A deficiência hídrica afeta praticamente todos os aspectos relacionados ao desenvolvimento e produtividade das culturas agrícolas. Por outro lado, o excesso de precipitação também pode influenciar negativamente na quantidade e na qualidade dos grãos a serem colhidos. Uma das maiores dificuldades para os tomadores de decisões é o acompanhamento das condições de tempo ocorridas, pois a rede de estações de superfície é deficiente e mal distribuída e nem sempre os dados são disponibilizados. Deve-se considerar ainda que a grande variabilidade espacial e temporal da precipitação impede que o pluviômetro represente adequadamente as chuvas incidentes em uma determinada área. A estimativa de precipitação a partir de imagens obtidas por satélites ou radares, em função da excelente cobertura espacial e temporal, pode apresentar-se como a única forma de obtenção de dados pluviométricos representativos de uma determinada área. O presente trabalho teve como objetivo propor um método de estimativa de precipitação para fins agrícolas, por meio de imagens do satélite meteorológico GOES-12, utilizando como ”referência terrestre” os dados do radar meteorológico do IPMet/UNESP localizado em Bauru e quatro pluviômetros localizados dentro da área de cobertura do radar. Os resultados mostram que precipitações oriundas de nuvens mais frias são mais previsíveis pelos satélites do que provenientes de nuvens mais quentes. Nuvens com temperaturas em torno de 234K são capazes de produzir precipitação, mas nem toda nuvem com essa temperatura pode ser diretamente relacionada com precipitação na superfície. É demonstrado que o limiar de temperatura de brilho de 225K é o mais indicado para estimar precipitação em superfície, reforçando a hipótese de que há uma relação entre as informações obtidas pelo satélite e a precipitação em superfície. Assim como o modelo de MARSHALL E PALMER (1948) apresenta deficiências na relação Z-R, os modelos que utilizam a relação entre refletividade do radar e precipitação obtidos para a região não apresentaram melhor performance. O trabalho desenvolvido indica a possibilidade de acompanhamento de intervalos de estiagens em regiões agrícolas com o uso de imagens satelitarias tornando-se uma ferramenta adequada ao monitoramento agrícola e na estimativa de quebra de safras do país.

Palavras-chave: radar meteorológico, temperatura de brilho e pluviômetro

RAINFALL ESTIMATION IN TROPICAL REGIONS USING GOES-12 SATELLITE IMAGERY

ABSTRACT

Considering the variables that compose the water balance, precipitation is certainly the most important factor for the agricultural yield in Brazil. The water deficiency affects practically all the aspects related to the development of the cultures. On the other hand, the precipitation excess can interfere as a negative factor in the quality of the final products. One of the highest difficulty for the decision makers in agriculture is the weather monitoring capability since, mainly in Brazil, the meteorological stations network is very poor, badly distributed and the data administrators normally impose restrictions for delivering information. The possibility of estimating precipitation from satellite images in function of the excellent space and time covering cicles can be analysed as an important way for collecting rainfall data for large areas. The present work has the objective of develop a method for estimating rainfall volume for agricultural purposes based on the use of meteorological images collected by the satellite GOES-12 having as terrestrial reference the images of the weather radar of IPMet/UNESP located in the city of Bauru, SP and 4 rain gauges inside the area of radar covering. The results showed that clouds with temperatures around 234K are capable to produce precipitation As well as the model of MARSHALL and PALMER (1948) showed some deficiencies related to Z-R parameters, the models using the relation between reflectivity of the radar images and precipitation for the region also did not have better performance. The present work shows a possibility of using satellites images for estimating dry spells in large regions of the country that can interfere in the final yield of agriculture.

Keywords: weather radar, clouds temperatures and rain gauge

1. INTRODUÇÃO

A estimativa de precipitação a partir de dados transmitidos por satélites, em função da excelente cobertura espacial e temporal, pode apresentar-se como uma opção aos métodos mais convencionais, dado o alto custo para a instalação e manutenção de estações de superfície e de radares meteorológicos. Monitorar a atmosfera por meio de sensores remotos possibilita a obtenção de informações contínuas do país, com resolução espacial de poucos quilômetros e temporal da ordem de minutos. Entretanto, as medidas obtidas por sensores remotos são indiretas e, por essa razão, é necessário o desenvolvimento de modelos que relacionem as características disponíveis nos canais espectrais dos satélites a parâmetros associados a essas informações.

Das variáveis que compõem o balanço hídrico, a precipitação e sua variabilidade é certamente o fator natural determinante da produção agrícola no país. A deficiência hídrica afeta praticamente todos os aspectos relacionados ao desenvolvimento das culturas, reduzindo a área foliar, por menor crescimento e morte das folhas, e diminuindo a fotossíntese. Entretanto, as necessidades hídricas e a sensibilidade ao déficit hídrico variam ao longo do ciclo da cultura. Normalmente, as espécies destinadas à produção de grãos são mais sensíveis quando estão sendo definidos os componentes de rendimento. Por outro lado, as culturas destinadas à produção de massa verde são igualmente sensíveis durante todo o seu ciclo.

O Brasil encontra-se entre os maiores produtores mundiais de grãos, sendo o maior produtor mundial de café, com médias entre 30 e 40 milhões de toneladas/ano, o segundo maior produtor de soja, atrás apenas dos Estados Unidos, e o terceiro maior produtor de milho. Com exceção do café, as culturas acima citadas têm seu ciclo fenológico principal no final da primavera e início do verão, época de maior demanda evaporativa da atmosfera e, conseqüentemente, de maior necessidade de precipitação. Entretanto, é necessário que esta seja distribuída no tempo e no espaço para que haja boa produtividade. O excesso de precipitação, principalmente na época da colheita, pode influenciar negativamente na quantidade e na qualidade dos grãos a serem colhidos. Uma das maiores dificuldades para os tomadores de decisões é o acompanhamento das condições de tempo ocorridas, pois em países em desenvolvimento, como o Brasil, não há uma rede de estações meteorológicas bem

distribuídas, os dados são de pouca confiabilidade, além da coleta lenta e, com poucas exceções, com disseminação restrita pelas instituições responsáveis.

As técnicas de estimativa de precipitação por meio de imagens de satélite utilizam a radiação que é emitida ou refletida pela nuvem. O brilho da nuvem, ou equivalente temperatura, podem ser relacionados com a intensidade da precipitação. Entretanto, a relação entre a temperatura do topo de nuvem e as taxas de precipitação varia com o tipo desta última, com a estação do ano e com o local e condições atmosféricas, o que torna difícil encontrar uma relação significativa entre a precipitação e a espessura ótica e/ou a temperatura de topo de nuvens.

O Satélite Meteorológico GOES (Geoestationary Operational Environmental Satellites) é especialmente destinado ao monitoramento contínuo da Terra e da atmosfera por meio de suas imagens em cinco bandas espectrais, disponibilizando imagens para a América do Sul em intervalos de trinta minutos.

A hipótese do presente trabalho é a de que as características espectrais obtidas a partir das propriedades físicas das nuvens, medidas por sensores remotos a bordo de satélites, possam ser utilizadas para inferir valores de precipitação por meio de modelos numéricos.

Este trabalho foi desenvolvido na área de cobertura do radar meteorológico do IPMet/UNESP, localizado no município de Bauru, Estado de São Paulo, teve como objetivo propor um método de estimativa de precipitação para fins agrícolas, por meio de imagens do satélite meteorológico GOES-12, utilizando como referência terrestre os dados do radar meteorológico e de estações meteorológicas automáticas.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. PROPRIEDADES FÍSICAS E ÓTICAS DAS NUVENS

As nuvens cobrem aproximadamente 50% do planeta e são os mais importantes reguladores do balanço de radiação do sistema terra-atmosfera (LIOU, 1980).

O Atlas Internacional de Nuvens, produzido pela Organização Meteorológica Mundial, define nuvem como sendo um conjunto visível de partículas minúsculas de água líquida ou gelo, ou de ambos, em suspensão na atmosfera. As propriedades ópticas como refletividade e emissividade dependem tanto das características das nuvens quanto do comprimento de onda da radiação observada pelo satélite.

A presença de nuvens indica algum tipo de umidade e/ou algum mecanismo de resfriamento. A causa mais comum da formação de nuvens é quando há um decréscimo vertical da temperatura suficientemente grande para o que o perfil de temperatura do ar seja condicionalmente instável, com o ar úmido em baixos níveis. Nessa camada da atmosfera, uma parcela de ar em ascensão torna-se saturada e resfria-se menos rapidamente do que se não estivesse saturada, porque a liberação de calor latente de condensação compensa parcialmente o resfriamento por expansão adiabática. Uma parcela de ar, mais aquecida do que a atmosfera, em um determinado nível, por ser mais leve ou menos densa, tende a ser impulsionada para níveis mais altos caracterizando o mecanismo da convecção (VIANELLO & ALVES, 1991). Outras causas de formação de nuvens seriam por resfriamento radiativo, advecção de calor, deslocamento de ar úmido sobre superfícies frias ou ar frio sobre superfícies úmidas e quentes (KIDDER & HAAR, 1995).

De acordo com o tamanho e a quantidade de partículas existentes nas nuvens é possível calcular o total de radiação direcionada ao satélite. Os cálculos partem da quantidade de energia espalhada, absorvida e emitida por partículas individuais. Esses resultados dependem do índice de refração, que varia com o comprimento de onda e a fase de gelo ou líquida da partícula (HANDERSON-SELLERS, 1984).

As nuvens mais baixas como as do tipo stratus são difíceis de serem identificadas em canais na faixa espectral do infravermelho por apresentarem valores de temperatura próximos dos valores encontrados na superfície da Terra. Em imagens na faixa espectral do visível,

nuvens stratus são brilhantes, contrastando com a superfície mais escura da terra ou da água. A identificação dos cirrus na banda do visível pode ser difícil por serem praticamente transparentes, mas, sendo frias e opacas, nas bandas do infravermelho tornam-se facilmente identificáveis (RAO et al., 1990).

2.2. PRECIPITAÇÃO

A precipitação é um elemento meteorológico altamente variável no tempo e no espaço e seu monitoramento é feito convencionalmente pelos pluviômetros e pluviógrafos, para medições pontuais e por meio de radares meteorológicos para medições em áreas extensas. Entretanto, essas técnicas apresentam dificuldades intrínsecas para medidas precisas uma vez que, os pluviômetros amostram pontos isolados de chuvas, não sendo representativos do total pluviométrico que ocorre em uma região e os radares fornecem dados de alta resolução, tanto no espaço quanto no tempo, mas são limitados em cobertura de área e de pouca precisão na avaliação do volume de chuva.

Segundo WILSON & BRANDES (1979), os potenciais erros de estimativa de precipitação por radar devem-se fundamentalmente a diferenças de amostragem da precipitação, efetuadas por radar e pluviômetro, variação na relação Z-R e estimativa do fator de refletividade.

Dadas às dificuldades intrínsecas existentes nos métodos tradicionais de medidas de precipitação, desde a década de 60, com o advento dos satélites meteorológicos, surgiu a possibilidade de monitorar a atmosfera por meio de sensores remotos e desde então tem havido inúmeras tentativas para inferir valores de precipitação a partir de medidas radiométricas efetuadas pelos satélites.

As técnicas de estimativa de precipitação utilizando imagens de satélite utilizam a radiação que é emitida ou refletida pela nuvem. Toda a técnica de estimativa é necessariamente indireta. O brilho da nuvem ou a sua temperatura podem ser relacionados com a chuva, mas a gota formada não é diretamente medida. A maior dificuldade em estimar a precipitação utilizando imagens de satélite é encontrar uma relação entre a espessura ótica e/ou a temperatura do topo de nuvens e a precipitação. Por causa da natureza indireta entre os dados medidos pelo satélite e o valor da precipitação observada, as técnicas não são universalmente aplicáveis. Técnicas desenvolvidas para os trópicos podem não apresentar um

bom desempenho nos extratrópicos. Da mesma forma, técnicas para estimar a chuva mensal podem não ser úteis para estimativa de chuva horária (KIDDER & HAAR, 1995).

2.3. O SATÉLITE METEOROLÓGICO GOES 12

O GOES 12 (Geoestationary Operational Environmental Satellites) é um satélite geoestacionário mantido pela National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) e suas informações são distribuídas pelo National Environmental Satellite and Information Service (NESDIS). Está localizado no plano do Equador a 75^{o} W de Longitude e a cerca de 35.800km acima da superfície, com velocidade de giro orbital igual à velocidade de rotação da Terra. Fornece imagens em cinco canais espectrais, uma no visível e quatro no infravermelho (Tabela 1).

Lançado em Julho de 2001, em substituição ao GOES 8, o atual GOES 12 teve os canais 3 e 5 alterados em relação ao anterior. O canal 3 (vapor d'água) passou de uma resolução espacial de 8km para 4km e o canal 5, ao contrário, de uma resolução de 4km para 8km.

Tabela 1. Principais características dos canais espectrais disponíveis no satélite GOES-12.

Canal	Resolução sub-satélite	Intervalo espectral (μm)	Nomenclatura
1	1 km x 1 km	0,55 - 0,75	Visível (VIS)
2	4 km x 4 km	3,80 – 4,00	Infravermelho Próximo (NIR)
3	4 km x 4 km	6,50 – 7,00	Vapor d'água (WV)
4	4 km x 4 km	10,20 – 11,20	Infravermelho Termal – Janela atmosférica (IV1)
5	4 km x 8 km	12,9 – 13,7	Infravermelho termal (IV2)

Os sensores de infravermelho medem a energia que é emitida pela superfície terrestre e pela atmosfera e depende da temperatura. A temperatura de brilho é obtida a partir da radiância, considerando a emissividade igual a do corpo negro. Quanto mais alta a temperatura, mais brilhante é a cena. No entanto, por convenção, as imagens são mostradas de

forma invertida, ou seja, quanto mais baixa a temperatura, mais brilhante é a cena, segundo HENDERSON-SELLERS (1984).

Os Canais 4 e 5 captam a energia emitida pelo planeta nas chamadas "janelas atmosféricas". O canal 4 (11μm) detecta a radiação vinda das nuvens e da superfície terrestre, com pouca interferência da atmosfera. O canal 5 tem as mesmas características, porém detecta uma contribuição do vapor de água na baixa troposfera. Outra contribuição importante é obtida pelo canal 3 centrado na faixa de 6,7 μm. A maior parte da radiação recebida pelo sensor nessa faixa vem de temperaturas muito frias, uma vez que o vapor de água é um absorvedor muito ativo naquela porção do espectro e, assim, qualquer radiação que alcança o sensor vem da emissão desse componente, que é muito alta na atmosfera.

A radiação solar em comprimentos de ondas curtas, que é refletida pelo sistema terra-atmosfera, é detectada pelo canal visível. O brilho das imagens nesse canal está correlacionado com a espessura das nuvens e pode ser afetado pela posição angular da nuvem em relação ao sensor e ao sol. A reflectância no canal 1 está compreendida no intervalo entre 0 e 0,7 (70%), segundo BA & GRUBER (2001) reflectância acima de 0,4 (40%) pode ser indicativo de condições de precipitações, após ser corrigida a refletividade pelo cosseno do ângulo zenital solar. Segundo BARRET & MARTIN (1981), quanto maior a espessura da nuvem, maior a chance de produzir chuva. As propriedades físicas e óticas das nuvens, como a refletividade e a emissividade, condicionam o tipo de onda da radiação medida pelo satélite.

A principal fonte de energia do sistema terra-atmosfera é a radiação eletromagnética proveniente do sol. O espectro de emissão solar comporta-se como o de um corpo negro que emite a 5780K, tendo, aproximadamente, 8,5% na faixa do ultravioleta (< 0,4μm), 46,5% da radiação concentrada na faixa espectral do visível (0,4 – 0,7 μm), 43% na faixa do infravermelho próximo e cerca de 2% na faixa do infravermelho médio e distante. O sistema terra/atmosfera, por outro lado, comporta-se como um corpo negro que emite a 250K e tem sua energia concentrada no espectro infravermelho termal, com pico em aproximadamente 10μm (RAO et al, 1990).

A dependência entre a energia radiante e o comprimento de onda é dada pela lei de Planck (LIOU, 1980):

$$B\lambda(T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5 (e^{(\frac{\lambda c}{k\lambda T})} - 1)} \qquad (1)$$

onde:

h= constante de Planck (6,6256.10 $^{-34}$ W. s ^{2}),

c= velocidade da luz (3.10^{8} m/s),

k= constante de Boltzman (1,38054.10 $^{-23}$ W.s/K),

λ= comprimento de onda (m)

T = temperatura absoluta (K).

A Lei de Stefan-Boltzmann estabelece que a intensidade total da energia radiante em um corpo negro pode ser determinada integrando-se a função de Plank. Essa integral é proporcional à quarta potência da temperatura absoluta. Uma vez que a radiação de corpo negro é isotrópica, a densidade de fluxo emitida por um corpo-negro é dada por $B(T) = \Upsilon T^4$ (com Υ = constante de Stefan-Boltzmann). Se um meio emite uma energia menor do que aquela emitida por um corpo negro à mesma temperatura, diz que se trata de um "corpo cinza" com emissividade "ε", a qual é uma medida de eficiência de emissão. Algumas superfícies naturais têm características de emissividade próximas às de um corpo negro (ε = 1), mas é mais comum usar o tratamento para 'corpo cinza' (0 < ε <1), segundo BARRET & MARTIN (1981).

A atmosfera é praticamente transparente à radiação solar e opaca à radiação terrestre, exceto na região das janelas atmosféricas que são utilizadas para o sensoriamento remoto por satélites, na detecção de nuvens. As janelas atmosféricas que mais têm sido empregadas na detecção de nuvens estão nos intervalos aproximados: 0,5 – 1,3μm, 1,6 – 1,7μm, 2,1 – 2,3μm, 3,5 – 4,0μm e 8,0 - 13μm, com respostas espectrais dos satélites mais estreitas que essas bandas para se evitar as regiões de absorção molecular pelos gases atmosféricos (HENDERSON-LELLERS, 1984; RAO, *et al*. 1990).

À medida que aumenta a necessidade da precisão espacial de dados provenientes de sistemas imageadores, torna-se necessário o conhecimento das coordenadas terrestres (Latitude/Longitude) das cenas que estão sendo reproduzidas e esse procedimento é denominado de georreferenciamento. Esse complexo sistema de geometria depende da

localização do satélite em sua órbita, da altitude da plataforma do satélite, do elipsóide de referência adotado como modelo para a Terra e da geometria dos instrumentos envolvidos no sistema sensor. Imagens de satélite resultam de instrumentos de varredura normalmente organizados em forma de matriz, onde cada elemento representa a radiação proveniente do sistema terra-atmosfera e é denominado de pixel.

2.4. O GEORREFERENCIAMENTO

Um satélite meteorológico em órbita geossíncrona ideal deve permanecer estacionário para um observador localizado em um ponto fixo da Terra. Para que isso ocorra, a órbita do satélite deve estar contida no plano equatorial e a força centrífuga de seu movimento orbital deve ser igual à força gravitacional entre o satélite e a Terra. Entretanto, anomalias no campo gravitacional da Terra, o efeito gravitacional do Sol e da Lua, e a pressão do vento solar tornam praticamente impossível manter o satélite numa órbita ideal. A ação dessas forças perturbadoras faz com que a trajetória descrita pelo satélite seja a figura de um oito distorcido, num período orbital de um dia (CONFORTE, 1983). Esse movimento oscilatório do satélite faz com que um ponto em coordenadas terrestres (Latitude / Longitude) varie numa seqüência de imagens obtidas em instantes diferentes, isto é, um mesmo ponto da superfície da Terra não corresponde ao mesmo "pixel" de imagens tomadas em épocas diferentes. Para corrigir essa diferença é necessário georreferenciar cada imagem (KIDDER & HAAR, 1995).

As imagens do GOES recebidas no Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE), pelo conjunto antena-receptor e o software 'Terascan' processa o sinal original em 'counts', e o transforma em radiância ($W/m^2.\mu m.ster$), de acordo com a calibração padrão (WEINREB *et al*., 1997). O mesmo utilitário permite avaliar fator de refletância para o canal 1 e temperatura de brilho para os demais canais. Os valores gravados em arquivos binários correspondem diretamente ao fator de refletância em porcentagem e a temperatura de brilho em Kelvin, em palavras de 2 bytes com uma precisão de até duas casas decimais. Juntamente com o conjunto de imagens de um determinado setor e horário, são gravados outros dois arquivos de posicionamento, um correspondendo à latitude e outro à longitude de cada elemento da imagem, em graus, minutos e segundos (BOTTINO, 2000).

Dados provenientes de satélites podem oferecer informações sobre a altura de topos de nuvens e intensidade de precipitação e radares meteorológicos são capazes de observar a estrutura tridimensional da precipitação de algumas nuvens sobre uma região mais limitada que o satélite. Ambas as medidas oferecem diferentes, mas complementares informações da precipitação sendo claramente benéfico o uso dessas informações simultaneamente (HEYMSFIELD *et al.,* 1983).

Alguns erros são inerentes ao processo de sobreposição de imagens oriundas de deferentes sistemas de coordenadas. No caso das imagens de radar, embora reduzidas à mesma resolução das imagens do IV do satélite, uma mesma área delimitada nas duas imagens pode estar deslocada, tendo em vista a diferença de projeção dos dois sistemas. Outras diferenças que podem aparecer no processo de sobreposição, podem ser atribuídas ao rebatimento no plano horizontal das áreas de limitadas pelo radar, efeito de curvatura da Terra e ao efeito de paralaxe das nuvens (CONFORTE *et al*.,1986).

2.5. O RADAR METEOROLÓGICO

O radar ("Radio Detection And Ranging") meteorológico é um sensor remoto ativo que transmite energia na faixa de microondas, em forma de pulsos, composto basicamente por transmissor, antena e receptor. O transmissor gera pulsos de energia em freqüência de microondas que é concentrada pela antena num estreito feixe e têm a capacidade de interceptar alvos, no caso as gotas de chuvas, causando um retroespalhamento dessa energia, que é detectada pelo receptor.

A energia eletromagnética que retorna ao radar é denominada de potência recebida e é representada pelo fator de refletividade do radar, Z, que depende da distribuição das gotas de chuva dentro do volume amostrado. Essa distribuição de gotas determina também a intensidade R da precipitação (ANTÔNIO, 1998). Um resultado importante do estabelecimento da equação do radar é a obtenção de uma relação entre a taxa de precipitação e o fator de refletividade. O princípio dessa relação está fundamentado no fato de que a taxa de precipitação pode ser medida simultaneamente ou calculada pela distribuição do tamanho da gota segundo MARSHALL & PALMER (1948).

A expressão que relaciona a taxa de precipitação e o fator de refletividade é empírica e tem a forma dada pela equação 2:

$$Z = AR^b \quad (2)$$

onde os coeficientes A e b são determinados por um ajuste de mínimos quadrados e estão relacionados ao tamanho das gotas de precipitação. Com o uso da relação Z-R, a informação de refletividade, dada em mm^6/m^3, passa a ser expressa em mm/h. Esta relação depende da estação do ano ou da localização geográfica e do tipo de precipitação (ANTÔNIO & CALHEIROS, 1985). Segundo esses autores, um mesmo sistema precipitante, em um mesmo local, pode apresentar uma relação Z-R diferente para dois períodos distintos de precipitação.

NEGRI & ADLER (1980) e CARVALHO (1992) utilizaram a conversão de refletividade do radar em precipitação desenvolvida por MARSHALL & PALMER (1948) por meio da relação $Z=200R^{1.6}$, onde Z é a refletividade do radar ($mm^6\ m^{-3}$) e R é a taxa de precipitação ($mm\ h^{-1}$) e encontraram resultados satisfatórios para caracterização de regiões precipitantes, onde o interesse principal era relacionar informações das imagens de satélite com precipitação acima de um certo limiar.

2.6. RADAR METEOROLÓGICO DO IPMet/UNESP

O radar meteorológico do IPMet é do tipo Doppler Banda - S, está localizado em uma Unidade Complementar da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" - UNESP, localizado na cidade de Bauru, estado de São Paulo, nas coordenadas geográficas de 22°21'30"S / 49°01'38"W e possui um raio de cobertura quantitativa de 240 km e qualitativa de 450km (Figura 1).

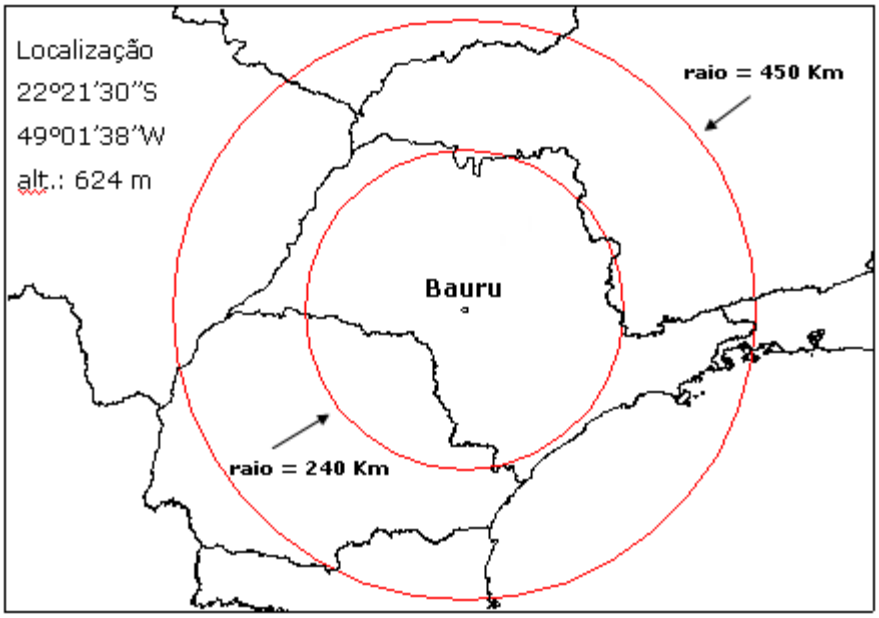

Figura 1. Localização do Radar Meteorológico de Bauru e área de abrangência qualitativa e quantitativa da precipitação (Fonte: IPMet/UNESP).

Para a obtenção dos dados tipo CAPPI (Constant Altitude Plan Position Indicator) a antena do radar é programada para dar uma volta completa (360^{o}) e mudar sua elevação em relação ao horizonte. De cada varredura da antena a uma dada elevação é extraído um anel de informações. Para elevações sucessivas vão-se extraindo anéis seqüentes. O conjunto desses anéis compõe um mapa cujo valor médio da altura sobre o solo é aproximadamente o mesmo. Em função da distância, a dimensão vertical do anel vai se tornando cada vez maior. A altura padrão do CAPPI adotada para o radar de Bauru é 3,5km (ANTÔNIO, 1998).

2.7. DIFICULDADES INERENTES À RELAÇÃO Z-R

A comparação dos dados estimados pelo radar com dados de pluviômetros é importante para entender as diferenças na estratégia de amostragem dos instrumentos e as suas limitações. O radar faz uma varredura em uma série de ângulos de elevação completando uma medição do volume no espaço ao redor do radar entre 4 e 15 minutos. Isto implica que o radar irá retornar uma simples amostra de um campo de precipitação de um mesmo local no intervalo de tempo citado acima, enquanto que o pluviômetro acumula os dados de precipitação continuamente em um único ponto. Enquanto a diferença entre essas duas

amostragens pode não ser significativa no caso de uma precipitação uniforme, em situações convectivas, onde a expectativa de vida média de uma tempestade é da ordem de aproximadamente 20 a 30 minutos, uma varredura a cada 15 minutos impõe uma série de dúvidas sobre a acuracidade dos dados do radar (SEED *et al*., 1996).

O radar faz uma varredura a uma distância considerável do solo e a precipitação originada em baixos níveis pode não ser medida, levando à subestimativa do volume total. Por outro lado, a ocorrência de evaporação em baixos níveis pode levar a uma superestimativa do volume. Fatores como a presença de ventos próximos à superfície e a variabilidade no tamanho de gotas podem afetar diretamente a relação entre a refletividade do radar (Z) e a taxa de precipitação estimada (R). A precipitação também pode ocorrer a uma distância diferente daquela indicada pelo radar, dada a altura acima do solo que o radar realiza as medições (HARROLD et al. (1974) e ZAWADZKI (1975)).

Segundo ZAWADZKI (1975) há um retardamento entre a medida efetuada pelo radar e a realizada pelo pluviômetro. Para uma mudança rápida na intensidade da precipitação esse retardamento introduz uma discrepância maior entre as duas medidas. Essa defasagem pode ser ainda maior conforme a distância entre o pluviômetro e o radar.

As medidas do radar e do pluviômetro se aproximam quando a integração dos dados é feita considerando um período maior de precipitação. Comparações instantâneas mostram grande discrepância devido aos problemas na conversão de refletividade para taxas de precipitação e também devido às diferentes características dos instrumentos. A relação entre a refletividade (Z) e a precipitação (R), quando a precipitação é do tipo constante e uniforme, pode ser bem sucedida. Quando ocorrem chuvas altamente variáveis no tempo e no espaço, a discrepância devido ao atraso entre as medidas e a suavização nas observações realizadas pelo radar tornam praticamente impossível qualquer melhoria na qualidade da relação Z-R (ZAWADZKI, 1975).

Uma parte significativa da dispersão observada na relação entre o radar e o pluviômetro pode ser atribuída ao fato de que a medida de um simples pluviômetro pode não ser representativa de uma área média de precipitação de aproximadamente $4x4km^2$ (SEED et al., 1996). Além disso, as diferenças entre dados de radar e pluviômetros são também dependentes da distância radar-pluviômetro (ANTÔNIO, 1984b).

Segundo ANTÔNIO (1998), a integração dos dados de radar sobre áreas mais extensas com um maior intervalo de tempo, normalmente minimiza os efeitos discrepantes dos valores obtidos pelo radar quando comparados às medidas obtidas nos pluviômetros. Nesse trabalho, o autor utilizou dados de refletividade de imagens tipo CAPPI do radar meteorológico do IPMet/UNESP e pluviógrafos localizados dentro da área de cobertura do radar, além de dois disdrômetros, numa tentativa de ajustar medidas de chuva com o radar em tempo real.

Os dados mensais de refletividade do radar foram totalizados parcialmente para períodos de 24 horas e convertidos para precipitação por meio da equação MARSHALL & PALMER (1948) para serem comparados com dados mensais de pluviômetros, também totalizados parcialmente para 24 horas. ANTÔNIO (1998) corrobora as afirmações de ZAWADZKI (1975) de que as tentativas de se utilizarem séries curtas de dados de precipitação medidas com pluviômetros e estimadas por radar, têm levado a resultados pouco satisfatórios, quer no estabelecimento de relações Z - R específicas para cada sítio, quer nas relações Z - R de cada período, como foi demonstrado em seu trabalho utilizando oito estações pluviométricas situadas na região central do Estado de São Paulo.

2.8. MÉTODOS DE ESTIMATIVA DE PRECIPITAÇÃO

BARRET & MARTIN (1981) fizeram uma descrição detalhada dos métodos de estimativa de precipitação e, no presente trabalho, é apresentada uma revisão desses métodos com ênfase na metodologia aqui aplicada. Serão utilizadas as notações VIS para o canal espectral visível (0,55μm - 0,75μm), NIR para o Infravermelho próximo (3,80μm – 4,00μm), WV para o Vapor d'água (6,50μm – 7,00 μm), IV para o Infravermelho termal que corresponde ao canal 4 do GOES (10,2μm – 11,20 μm) e IV1 para o canal 5 do GOES na janela atmosférica que corresponde ao intervalo (11,50μm – 12,50 μm).

Inicialmente, as técnicas utilizavam imagens impressas em papel. Mais tarde, as facilidades computacionais combinadas foram associadas à interpretação humana e, atualmente, destacam-se os métodos que relacionam as informações disponíveis nos satélites com informações obtidas por modelos matemáticos que estimam parâmetros da atmosfera

como a água precipitável e o vapor d'água. Todos os métodos apresentam dificuldades intrínsecas e dependem do recurso computacional disponível.

BARRET (1970) descreve um dos métodos mais antigos, denominado Bristol, que recebeu esse nome, por ter sua origem ligada a Universidade de Bristol, juntamente com o grupo do "National Environmental Satellite Service – NESS e do National Oceanograplic and Atmospheric Administration – NOAA", EUA. Pertence aos chamados Métodos de Indexação, que se baseavam na identificação do tipo de nuvens e, de acordo com sua classificação feita por especialistas, eram atribuídos valores de precipitação. Nessa técnica, a precipitação acumulada em um período, inicialmente um mês, dependia da área, do tipo da nuvem e de sua altitude, independente do tempo, sendo sua acurácia em torno de 20% (GUILLOT, 1995).

Os métodos de estimativa de precipitação, na sua maioria, utilizam informações de satélites geoestacionários com sensores no visível e/ou no infravermelho. Sensores no infravermelho fornecem informações sobre a temperatura e, embora indiretamente, também sobre a altura dos topos das nuvens. São especialmente sensíveis à radiação da superfície terrestre e das nuvens, com relativamente pequena influência da atmosfera.

No canal visível, o sinal recebido pelo satélite é o resultado da radiação solar refletida pelas nuvens e pela superfície da Terra. No caso das nuvens, essa reflexão depende da espessura ótica, da geometria e do ângulo solar. Nesse canal, a freqüência de imagens é seriamente penalizada por não serem disponibilizadas em horário noturno. Nuvens mais brilhantes são mais espessas, o que implica em maior probabilidade de precipitação. Temperaturas mais frias implicam em topos mais altos e em maior probabilidade de produzir chuva (BARRET & MARTIN, 1981). Nuvens do tipo stratus são brilhantes no visível e nuvens cirrus são frias no infravermelho, mas não produzem chuva. Em técnicas que utilizam a combinação desses dois canais, normalmente é estabelecido um limiar no visível e no infravermelho de chuva e não chuva.

WOODLEY *et al*. (1972) consideram os seguintes aspectos sobre nuvens de chuva:

1- Nuvens que aparecem brilhantes nas imagens do canal VIS produzem mais chuva que nuvens escuras;
2- Nuvens brilhantes no canal VIS e com topos frios no canal IV e em processo de expansão produzem mais chuva que as nuvens que não sofrem expansão;

3- Quando a nuvem está diminuindo, ou decaindo, quase não produz chuva;
4- Quanto mais frio o topo da nuvem mais chuva ela é capaz de produzir;
5- Quando a temperatura do topo da nuvem está aumentando significa que a chuva está diminuindo de intensidade, ou já não está chovendo;
6- A chuva mais significativa ocorre na área de movimento ascendente do vento (nível da bigorna), porção mais intensa do sistema convectivo.

SCOFIELD & OLIVER (1977) desenvolveram uma técnica de estimativa de precipitação partindo da premissa que a precipitação tem maior chance de ocorrer quando a nuvem apresenta maior brilho na imagem VIS ou, menor temperatura na imagem IV. Eles observaram também que as chuvas fortes podem ocorrer devido à baixa temperatura de topo da nuvem e agrupamento de nuvens, enquanto que as chuvas fracas, em geral, resultam de nuvens quentes e menores. A chuva concentra-se na parte da nuvem onde ocorre o aumento do cisalhamento da "bigorna" no caso de Cumulus Nimbus.

Para a estimativa de precipitação, essa técnica utiliza uma árvore de decisões que inclui vários fatores, tais como: a forma da nuvem, sua taxa de mudança, seu ciclo de vida, a umidade atmosférica, se é convectiva ou não, se o topo é frio ou quente, se existem topos protuberantes ("overshooting tops") ou não e se resulta de uma combinação de Cumulus Nimbus ou combinação de linhas convectivas (SCOFIELD, 1987).

LOVEJOY & AUSTIN (1979) utilizaram informações dos canais visível e infravermelho do GOES buscando um limiar ótimo para identificar condições de chuva e não chuva, tendo como referência terrestre os dados de radar. Foram montados e combinados dois conjuntos de distribuição bivariada de freqüência no espaço infravermelho/visível para fornecer a probabilidade de distribuição de chuvas. Com essa técnica os autores conseguiram identificar corretamente 65% dos pixels, ou seja, identificar como condição de chuva, quando realmente estava chovendo. Esta técnica foi mais eficiente para casos convectivos do que para casos estratiformes. Neste último, a maior dificuldade foi que os histogramas para condições de chuva eram muito semelhantes às de não chuva ou, em outras palavras, os dados dos canais visível e infravermelho são pouco eficientes para que se possam distinguir condições de chuva ou de não chuva, em nuvens estratiformes.

TSONIS & ISAAC (1985) adaptaram a metodologia de LOVEJOY & AUSTIN (1979) aplicando análises de agrupamento no espaço bidimensional visível/infravermelho, também para identificar condições de precipitação e conseguiram 80% dos pixels classificados corretamente.

NEGRI & ADLER (1981), com o objetivo de estudar quantitativamente várias intensidades de chuva para a região do meio-oeste Norte-Americano, utilizaram dados dos canais VIS e IV, obtidos por satélite com alta resolução temporal, e dados de radar. Para cada situação foram observadas as temperaturas mínimas durante a tempestade e a variação da temperatura no topo das nuvens com o tempo. As áreas de precipitação intensa foram definidas utilizando uma seqüência de imagens no IV e no VIS. Os pontos com as temperaturas mais baixas foram identificados e definidos como tempestade quando apresentavam uma aparência cumuliforme na imagem VIS e uma rápida mudança nos valores de temperatura no topo da nuvem no IV. Segundo os autores, essas informações podem ser indicadores de convecção profunda. As nuvens de tempestade identificadas dessa forma coincidiram com as áreas de chuva mostradas pelo radar, especialmente na fase de crescimento e máxima taxa de precipitação. Nesse estudo, a nuvem que provocou tempestade mais severa teve um decréscimo de temperatura no tempo de 3,5 K/min. Em 25 min o eco do radar passou de 18 dBZ (246 K de temperatura de brilho no satélite, ~ 7,4 km de altura) para 50 dBZ (com a nuvem atingindo a tropopausa, ~212 K).

Entre outras técnicas encontradas na bibliografia, destacam-se a GPI (GOES Precipitation Index) apresentada por ARKIN & MEISNER (1987), a técnica CST (Convective Stratiform Technique) de ADLER & NEGRI (1988) e, mais recentemente, VICENTE *et al*. (1998) descreveram a técnica Autoestimador mais tarde sendo aperfeiçoada recebendo o nome de Hidroestimador.

A GPI é uma técnica que utiliza apenas informações do canal infravermelho e é destinada a estimar a precipitação convectiva mensal média dentro de uma área de $2,5^0$x$2,5^0$ baseada na fração de cobertura de nuvens com temperatura inferior a 235K. Essa técnica foi determinada a partir de diversas comparações entre a precipitação média em uma determinada área e a fração de cobertura de nuvens do canal infravermelho.

O método de estimativa de precipitação proposto por ADLER & NEGRI (1988) ('Convective and Stratiform Technique – CST') utiliza informações do canal infravermelho do

GOES para estimativa de precipitação convectiva e estratiforme. Essa técnica elimina as nuvens cirrus e identifica núcleos convectivos nas imagens IV com base na temperatura de brilho inferior a 253K. Um trabalho anterior desenvolvido por NEGRI & ADLER (1981) identificou que a maioria dos núcleos com esse valor de temperatura de brilho coincidia com áreas de precipitação no radar.

Conforme o valor de temperatura de brilho do IV é atribuído uma taxa e uma área de precipitação com base no modelo de nuvens proposto por ADLER & MACK (1984). Nesse modelo, a taxa de precipitação é identificada a partir de um limiar de temperatura de brilho obtido por meio de informações do próprio satélite. Nessa técnica, as áreas de precipitação que mais se assemelham às áreas mostradas pelo radar referem-se aos casos de precipitações isoladas e em fase inicial. Um dos problemas relacionados a essa técnica diz respeito à classificação de nuvens cirrus como precipitantes quando na verdade não o são. Mais tarde, NEGRI & ADLER (1993) utilizaram essa técnica para avaliar uma região do Japão e entre as alterações que foram feitas, o limiar de 253K passou para 235K, como sendo indicativo de condições de precipitação.

A escolha da técnica a ser utilizada envolve uma avaliação do custo e benefício que devem ser levados em conta bem, como o tipo de dados (tempo de processamento, complexidade do modelo, dados disponíveis, precisão, área de aplicação) de forma que o modelo adotado seja o mais simples possível, porém o suficiente para explicar as suas hipóteses.

VICENTE *et al*.(1998) da NOAA/NESDIS (National Oceanic and Atmospheric Administration/National Environmental Satellite Data and Information Service), desenvolveram uma técnica para estimar precipitação intensa, denominada Autoestimador. O método foi inicialmente desenvolvido utilizando as temperaturas de brilho do infravermelho do canal 4 (10,7 μm) dos satélites GOES-8 e GOES-9 e as convertendo a partir de uma relação de potência com a taxa de precipitação estimada pelo radar Figura 2. Além disso, as taxas de precipitação são ajustadas para diferentes regimes de umidade, crescimento das células convectivas e gradientes espaciais das nuvens. A partir dessas considerações são feitas correções para ambientes úmidos e secos, utilizando a umidade relativa média entre a superfície e o nível de 500hPa e a água precipitável no nível de 500hPa, obtidas pelo modelo ETA do NCEP (National Centers for Environmental Prediction). Finalmente, uma máscara é

calculada para delimitar áreas de chuva utilizando dois critérios: primeiro que a taxa de crescimento das nuvens como função da mudança de temperatura dos topos das nuvens, considerando duas imagens consecutivas, deve ser positiva e, segundo, que na ausência de duas imagens consecutivas é calculado um gradiente das temperaturas dos topos das nuvens por meio de diferenças finitas.

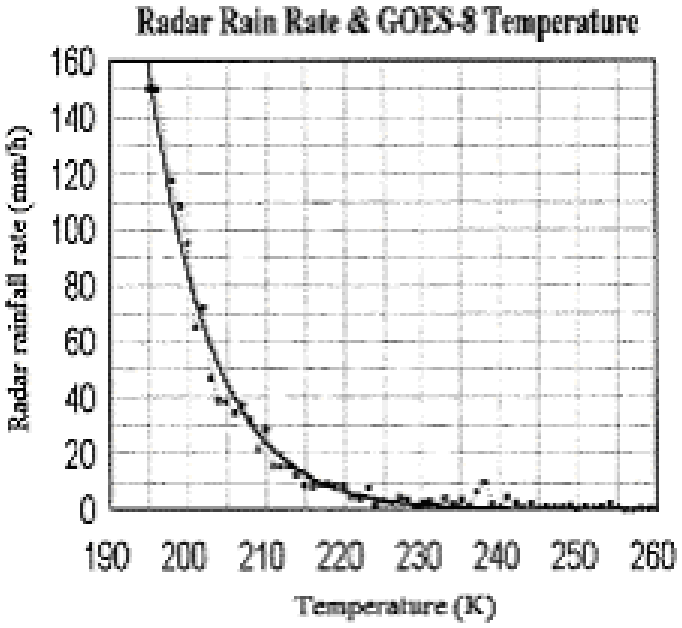

Figura 2. Relação entre a taxa de precipitação obtida por radar e a temperatura de brilho do canal 4. Fonte: VICENTE et al. (1998).

Essa técnica tornou-se operacional, mas VICENTE *et al*. (2002) e SCOFIELD (2001) fizeram alguns ajustes e o novo recebeu o nome de Hidroestimador. Correções quanto ao nível de equilíbrio convectivo para eventos de topos quente e erros devidos à orografia e de paralaxe foram utilizadas para ajustar automaticamente a taxa de precipitação. A circulação dos ventos sobre e entre uma cadeia de montanhas pode influenciar na quantidade de precipitação tanto para mais quanto para menos. O método da correção geográfica utiliza uma interação entre o vetor vento e o gradiente de elevação do terreno para criar um multiplicador para o total de precipitação estimada pelo satélite. As componentes de direção e velocidade do vento são extraídas do modelo ETA ao nível de 850hPa e a elevação e a orografia do terreno são retiradas de mapas geográficos. Essa correção permite uma maior precisão da precipitação

estimada em áreas de difícil obtenção de dados de superfície, tanto por estações meteorológicas convencionais quanto por radares meteorológicos.

Outro ajuste leva em consideração o erro de paralaxe que depende da altura da nuvem, da sua posição aparente sobre a Terra (latitude e longitude) e da posição do satélite. A exata localização da área de precipitação requer a identificação precisa da posição do topo da nuvem com relação ao solo. Isso não é problema quando a nuvem está posicionada imediatamente abaixo do satélite porque a área detectada pelo sensor torna-se deformada conforme o ângulo de visada. Para ângulos zenitais elevados pode-se estar observando uma grande sobreposição de camadas, projetando sobre a superfície nuvens afastadas do alvo. Portanto, essa correção permite uma melhor localização do núcleo principal de precipitação.

O Hidroestimador foi adaptado para as condições e estrutura da precipitação da América do Sul VILA (2003) e implementado operacionalmente na Divisão de Sistemas e Satélites Ambientais do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (DSA/INPE).

BA & GRUBER (2001) exploraram as informações dos cinco canais espectrais do GOES para o desenvolvimento de uma técnica de identificação de nuvens de chuva para o período diurno. Além das informações disponíveis nos canais espectrais e de combinação entre alguns deles, é utilizado um fator de correção de umidade desenvolvido por SCOFIELD (1987) e modificado por VICENTE et al (1998).

A correção de umidade adotada por BA & GRUBER (2001), baseia-se na premissa de que, em geral, métodos baseados em temperatura de topo de nuvens tendem a superestimar a precipitação em ambientes secos e subestimar em ambientes úmidos. Para a correção de umidade é utilizada a água precipitável e a umidade relativa integradas entre a superfície e o nível de 500hPa extraídas das análises do modelo ETA da National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA).

Para avaliar a performance da técnica, esses autores elaboraram uma tabela de contingência para selecionar condições de precipitação e de não precipitação baseado nas informações de radares e de pluviômetros. Para a confecção dessa tabela foram incluídos os eventos em que o radar e o pluviômetro indicavam condição de precipitação. Também foram calculadas as probabilidades de detecção de alarme falso, ou seja, o modelo indicou chuva, mas ela não ocorreu. Considerando as nuvens com temperatura inferior a 230K no

infravermelho e a refletividade acima de 0,40 no visível, o satélite conseguiu detectar somente 52% da precipitação indicada pelo radar, com 19% de indicativo de falso alarme.

A detecção ineficiente da precipitação indica que um número relativo de eventos de precipitação pode ser associado a nuvens com temperatura superior a 230K. Nesse caso, foram consideradas todas as nuvens com reflectância acima de 0.40, aumentando a probabilidade para 99%, mas nesse caso, o alarme falso aumentou para 34% levando à conclusão de que o limiar de 0,40 adotado para o visível é ineficiente para discernir nuvens precipitantes de não precipitantes.

Para estimar quantitativamente a precipitação alguns métodos associam uma determinada taxa de precipitação aos pixels considerados precipitáveis. Uma técnica que faz essa associação entre valores de temperatura de brilho e taxas de precipitação é a NAW (Negri Adler Wetzel Technique) desenvolvida por NEGRI et al. (1984). Nessa técnica os pixels com temperatura inferior a 253K assumem valores de 8mm/h se estiverem presentes em 90% da porção mais fria da nuvem, entre 90% e 50% assumem 2mm/h e inferior a 50% é atribuído o valor zero.

A técnica NAW foi aplicada por NEGRI & ADLER (1993) para a região do Japão e sofreu algumas alterações, entre elas a que passou a temperatura limiar para 235K e a inserção de uma equação empírica para eliminar nuvens cirrus. SCOFIELD (2003) fez uma adaptação dessa técnica para a região de cobertura do radar meteorológico do IPMet/UNESP utilizando dados do verão de 2000 e encontrou o mesmo limiar de temperatura de brilho para condições de precipitação. Entretanto, as taxas de precipitação foram menores do que as encontradas originalmente pelo método.

2.9. DIFICULDADES INERENTES À ESTIMATIVA DE PRECIPITAÇÃO POR SATÉLITE

A maior dificuldade em estimar precipitação utilizando imagens de satélite é encontrar uma relação entre a espessura ótica e/ou a temperatura de topo de nuvem e a precipitação. ADLER & NEGRI (1988) demonstraram que precipitações intensas sempre estão associadas com topos frios de nuvens, mas que o contrário não é verdadeiro. Segundo GUILLOT (1995), há uma defasagem entre o máximo de precipitação e o máximo de desenvolvimento da nuvem, tanto no canal visível quanto no infravermelho. A precipitação

máxima ocorre quando a convecção atinge a fase final de seu desenvolvimento (ANTÔNIO, 1998). Mesmo com a convecção menos ativa a nuvem ainda continua a crescer havendo uma certa defasagem antes de atingir seu desenvolvimento máximo.

As nuvens mais baixas como os stratus são difíceis de serem identificadas na faixa espectral do infravermelho por apresentarem valores de temperatura próximos dos valores encontrados na superfície da Terra. Em imagens na faixa espectral do visível, essas nuvens são brilhantes, contrastando com a superfície mais escura da Terra ou da água. Entretanto as nuvens do tipo cirrus são as mais problemáticas em métodos de estimativa de precipitação por satélite. Esse tipo de nuvem é praticamente transparente no canal visível, mas por ser fria e opaca nas bandas do infravermelho é mais facilmente identificável (RAO *et al*., 1990).

A maioria dos métodos desenvolvidos para estimativa de precipitação se baseia no fato de que, quanto mais fria e mais brilhante for a nuvem, mais chance de produzir chuva. Entretanto quando são utilizadas apenas informações do infravermelho, nuvens do tipo cirrus podem levar a superestimativas de precipitação, sendo identificadas como precipitáveis quando não são. Para evitar esse tipo de erro, alguns métodos como o desenvolvido por ADLER & NEGRI (1988), possibilitam identificar esse tipo de nuvem e excluí-las das análises.

BA & GRUBER (2001) utilizaram a metodologia desenvolvida por ADLER & NEGRI (1988) para a identificação de nuvens cirrus. O procedimento consiste na determinação da declividade e do gradiente da temperatura mínima local levando em consideração os pixels vizinhos. Nuvens convectivas estão associadas a um gradiente maior e nuvens cirrus a um pequeno gradiente. Também é utilizada a diferença entre os canais do infravermelho e do vapor d´água como indicativa de nuvens cirrus para condição de temperatura de brilho inferior a 220K no infravermelho.

2.10. ESTUDOS RELEVANTES SOBRE CARACTERÍSTICAS DE NUVENS

MACHADO *et al*. (1992), considerando uma atmosfera tropical média e as nuvens como um corpo negro, estabeleceu uma relação entre temperatura de brilho do canal infravermelho e altura do topo das nuvens. O intervalo entre 207 e 253K foi analisado e os autores encontraram valores de pressão correspondentes e, conseqüentemente, altura dos topos das nuvens, correspondendo a, aproximadamente, 8km (550hPa) a 14,5km (150 hPa). Os

autores exploraram o limiar de 253K como sendo o valor de temperatura limite para detectar a presença de nuvens convectivas profundas baseado no trabalho desenvolvido por DUVEL (1989).

DUVEL (1989) desenvolveu sua metodologia para a região tropical da África e Oceano Atlântico e utiliza esse limite para identificar, grosseiramente, nuvens médias e altas. Entretanto, 253K é maior do que o limite normalmente utilizado para definir convecção profunda, como por exemplo, em ARKIN (1979) para discriminar nuvens convectivas precipitantes. Segundo MACHADO *et al.* (1992), clusters de nuvens com temperatura de brilho inferior a 253K podem ser interpretados como uma mistura entre nuvens espessas dos níveis médios e nuvens de altos níveis com baixa emissividade. Quanto menor esse limiar maior é a chance de encontrar nuvens mais altas com maior emissividade.

MACHADO & ROSSOW (1993) estudando sistemas convectivos de nuvens na região intertropical, utilizaram o limiar de 245K, o equivalente a topos de nuvens com 9km de altura ou aproximadamente no nível de 450hPa, como sendo o indicativo de sistemas convectivos profundos. Após a identificação dos sistemas de nuvens os autores fizeram uma classificação, com base na reflectância observada no canal visível. Nuvens com reflectância igual ou maior do que 0,7 foram identificadas como sistemas convectivos profundos. Reflectância abaixo de 0,5 foi classificada como sendo característico de nuvens cirrus e, por último, o intervalo de reflectância entre 0,5 e 0,7 foi atribuído para sistemas de nuvens em transição.

Conforme citado anteriormente, entre os problemas encontrados nos métodos de estimativa de precipitação com satélite, destacam-se o referente à identificação de nuvens cirrus como sistemas precipitantes. Uma forma de tentar eliminar esse tipo de dificuldade seria adicionar parâmetros que permitissem a correta identificação desse sistema de nuvens. Partindo da premissa que na atmosfera terrestre o vapor d'água encontra-se distribuído entre a superfície e a tropopausa, para topos de nuvens do tipo cumulonimbos bem desenvolvidos, que chegam à essa camada da atmosfera, a quantidade de vapor d'água na coluna de ar entre o topo da nuvem e o satélite é muito pequena e, conseqüentemente, a radiância no canal do vapor d'água se aproxima daquela medida pelo canal infravermelho.

TOKUNO & TSUCHIYA (1994), utilizando um modelo de propagação radiativa, verificaram que a diferença das temperaturas de brilho no canal infravermelho termal e no

vapor d'água decaem à medida que o topo de uma nuvem espessa se aproxima da tropopausa e que a diferença máxima de 1,5K é adequada para detectar sistemas convectivos profundos.

Um sistema convectivo profundo, associado à convecção intensa, possui topo suficientemente alto para que a radiação emergente sofra pouca absorção pelo vapor d'água e a temperatura do topo independe do que ocorre nos níveis inferiores. Nessas condições, considerando-se a emissividade como a de um corpo negro, a temperatura de brilho detectada nos canais infravermelho e de vapor d'água devem ser semelhantes. Por outro lado, uma nuvem alta, mas relativamente delgada, deve apresentar uma diferença acentuada entre o canal infravermelho e de vapor d'água devido à absorção da radiação pelo conteúdo do vapor acima de seu topo (BOTTINO *et al.* ,2003)

Visando encontrar um limiar para o qual as diferenças entre o canal infravermelho e o de vapor d'água sejam representativas de nuvens cumulunimbus para o caso da atmosfera tropical da América do Sul, BOTTINO *et al*. (2003) concluíram que, de forma geral, o limiar próximo a 5K é adequado para definir a presença de nuvens convectivas. Esse limiar detecta sistemas convectivos com temperaturas médias no infravermelho termal de aproximadamente 228K.

A Tabela 2 mostra em síntese as técnicas de estimativa de precipitação descritas anteriormente, as principais dificuldades e os sensores do satélite GOES utilizados.

Tabela 2. Técnica de estimativa de precipitação, sensor do satélite GOES utilizado e dificuldade em implantação.

TÉCNICA	SENSOR	CARACTERÍSTICA
SCOFIELD E OLIVER (1977a)	IV1	Não é totalmente automatizada e sua eficiência depende da experiência do analista.
LAVEJOY E AUSTIN (1979)	VIS/IV1	Pouco eficiente para estimativa de precipitação do tipo estratiforme.
NEGRI E ADLER (1981)	IV1/VIS	Pouco eficiente para estimativa de precipitação do tipo estratiforme.
GPI	IV	Destinada à estimativa mensal de precipitação convectiva.
CST	IV	Tende a superestimativa de precipitação identificando nuvens cirrus como sistemas precipitantes.
NAW	IV	
HIDROESTIMADOR	IV	Faz correções utilizando dados de modelos numéricos de precipitação, necessitando de um sistema computacional robusto.
BA & GRUBER (2001)	VIS NIR IV1 IV2 WV	Faz correções utilizando dados de modelos numéricos de precipitação, necessitando de um sistema computacional robusto.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está localizada dentro do raio de cobertura quantitativa, de 240km, do Radar Meteorológico do IPMet/UNESP (Instituto de Pesquisas Meteorológicas da Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho) instalado no município de Bauru, região central do Estado de São Paulo, coordenadas 22^{o} 21' 30" de Latitude Sul e 49^{o} 01' 38" de Longitude Oeste, a uma altitude de 624m acima do nível do mar.

3.2. DADOS

Para a realização deste estudo foram utilizadas imagens do Satélite Meteorológico GOES-12 fornecidas pelo CPTEC/INPE (Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), dados de precipitação de estações meteorológicas automáticas disponíveis na região fornecidas pela usina COOPERSUCAR e pela Universidade de São Paulo, campus de Piracicaba e Universidade Estadual Paulista, campus de Jaboticabal e dados do Radar Meteorológico do IPMet/UNESP.

3.3. SELEÇÃO DOS DADOS

O período utilizado foi de Dezembro de 2003 a Fevereiro de 2004, por ser verão no Hemisfério Sul e a estação das chuvas nas latitudes tropicais. Inicialmente, foi feito um levantamento das estações meteorológicas automáticas disponíveis dentro da área de cobertura quantitativa do radar meteorológico, com um raio de 240 km. Após a aquisição dos dados dessas estações, foram selecionados os períodos mais longos de precipitação e/ou mais intensos, sem a preocupação com o tipo de nuvens, se convectivo ou estratiforme. Posteriormente, foram coletadas as imagens do satélite e do radar para os mesmos dias e horários. Na Figura 2 são apresentados os totais diários de precipitação dos eventos utilizados neste estudo.

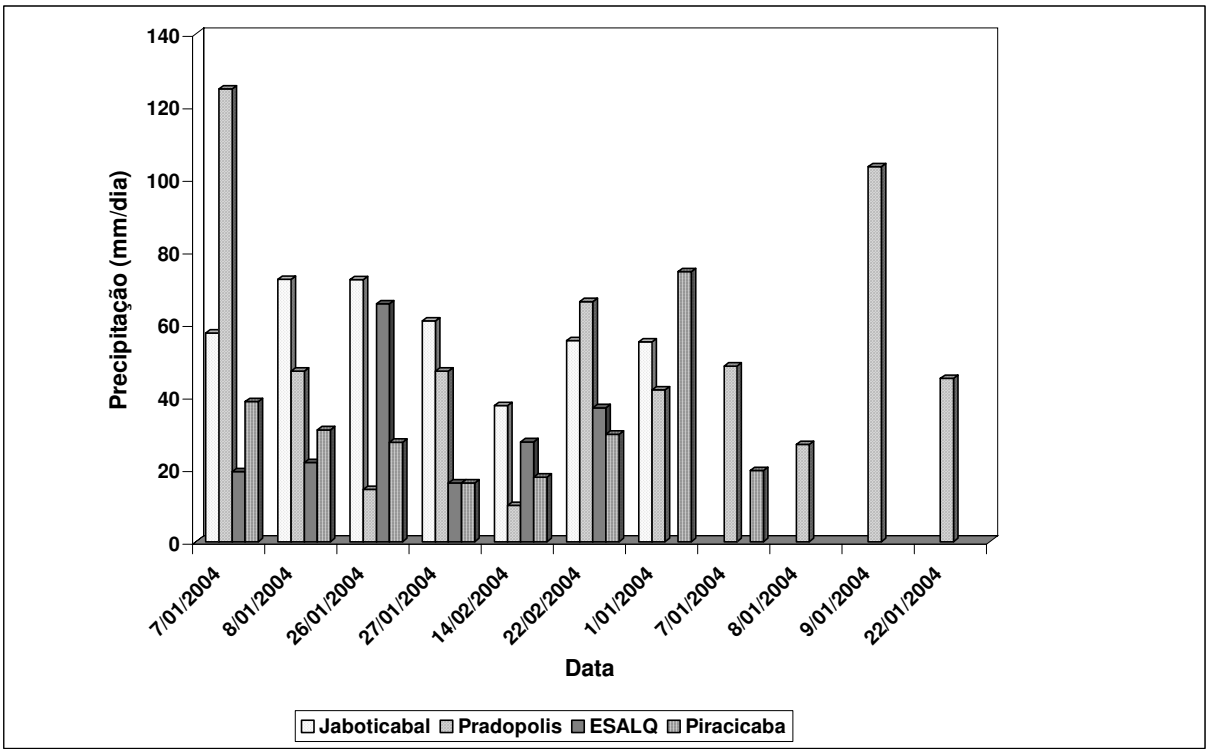

Figura 3. Totais diários de precipitação que foram utilizados neste estudo.

3.4. ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS

Foram utilizados dados de precipitação pluviométrica de quatro estações meteorológicas automáticas disponíveis na área de cobertura quantitativa do radar. Na Tabela 2 estão descritas as estações, a fonte e as respectivas coordenadas geográficas.

Tabela 3. Estações meteorológicas, coordenadas geográficas e fonte fornecedora dos dados.

Nome	Lat	Lon	Fonte	Distância ao radar
Jaboticabal	21^0 14’ S	48^0 17’ W	UNESP	146 Km
Pradópolis	21^0 20’ S	48^0 03’ W	COPERSUCAR	154 Km
Piracicaba	22^0 42’ S	47^0 33’ W	COPERSUCAR	155 Km
Piracicaba	22^0 43’ S	47^0 25’ W	ESALQ/USP	170 Km

3.5. DADOS DO RADAR

Os dados tipo CAPPI do radar meteorológico do IPMet/UNESP obtidos para uma altura de 3,5km foram disponibilizados em arquivos texto, em forma de matriz quadrada de 450km x 450km, resolução espacial de 1km x 1km cujo ponto central é o radar. Nesses produtos Z, é o valor da refletividade, normalmente expresso em dBZ. Para as integrações descritas no item 3.7, os valores de dBZ foram transformados em Z_e – refletividade equivalente onde $Z_e = 10^{z/10}$, sendo Z_e expresso em mm^6/m^3.

A matriz Z_e foi projetada em uma grade georreferenciada, tendo como coordenadas geográficas de referência as do radar meteorológico e as imagens geradas com resolução espacial de 1km x 1km (Figura 3).

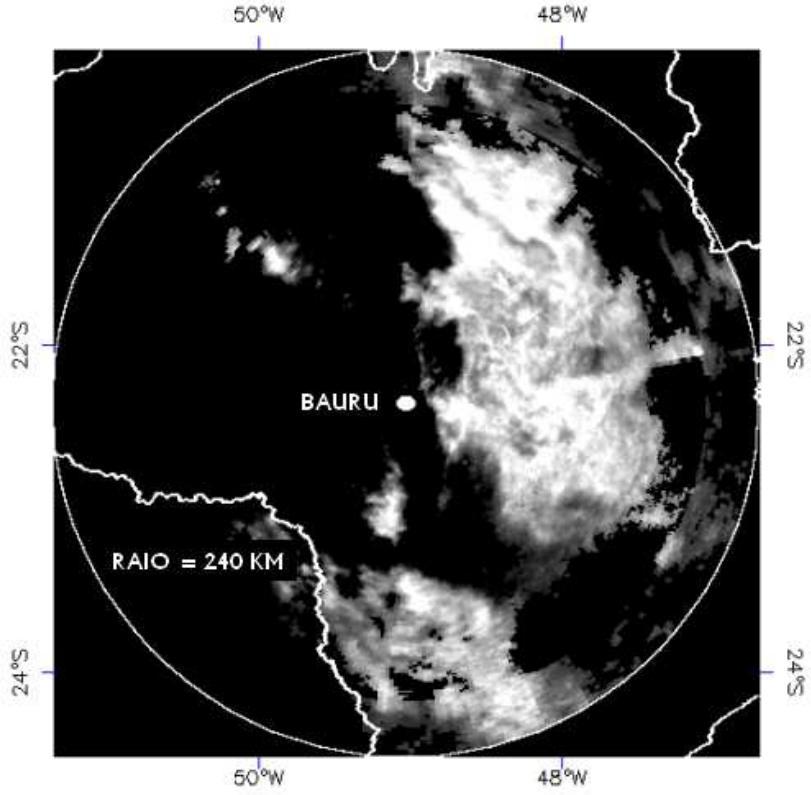

Figura 4. Imagem tipo CAPPI com a localização do Radar Meteorológico de Bauru, área de cobertura quantitativa, 240km.

Para fins de comparação, cada imagem gerada foi transformada para a mesma resolução espacial das imagens de satélite, 4km x 4km. O valor médio de cada conjunto de 16 pixels

com resolução de 1km x 1km da imagem original resulta em 1 pixel com resolução de 4km x 4km da nova imagem .

A partir das coordenadas geográficas das estações meteorológicas de superfície e sua localização na imagem de radar, foram selecionadas amostras de 3 x 3 pixels no entorno dessas coordenadas, utilizando-se a média dos 9 pixels nos cálculos.

3.6. O SATÉLITE GOES

Os arquivos originais de imagens de satélite disponibilizados pelo CPTEC/INPE são compostos por três arquivos individuais: refletância ou temperatura de brilho, dados de longitude e dados de latitude. Os dois últimos são utilizados para fins de georreferenciamento das imagens.

Neste trabalho, foram utilizados os dados de temperatura de brilho dos canais 3 e 4. As imagens foram georreferenciadas e as informações de temperatura de brilho foram extraídas utilizando-se o mesmo procedimento adotado para as imagens de radar. A partir da localização das coordenadas geográficas das estações na imagem, foram extraídos 9 pixels no entorno das coordenadas e calculada a média.

3.7. INTEGRAÇÃO DOS DADOS

Os dados disponíveis em escalas de tempo diferentes foram colocados em uma mesma escala temporal a partir da integração no tempo de 1 e 6 horas, respectivamente. Para tanto, foi calculada a integral para cada uma das grandezas individualmente, a partir do cálculo da equação 2 (LEITHOLD, 1977).

$$N = \int_{a}^{b} f(x)dx \qquad (3)$$

Onde,

N representa o total de refletividade, de precipitação ou de temperatura de brilho, obtidos no intervalo de 1h ou 6h, conforme o limite estabelecido.

Os pluviômetros, por serem provenientes de fontes diferentes, possuem disponibilidade de dados em intervalos variando de 10 a 30 minutos. Os dados do radar são coletados normalmente a cada 7,5 minutos, mas algumas vezes em intervalos de 15 ou até 30 minutos. Os dados do satélite GOES são disponíveis em intervalos de 30 minutos. Nesse caso, optou-se por colocá-los numa mesma escala de tempo. Como no intervalo de 30 minutos havia uma defasagem entre os horários de medida das diferentes fontes, os dados foram colocados em intervalos de 1 hora. A integração em 6 horas foi utilizada, inicialmente, visando identificar uma maior ou menor correlação entre os dados, principalmente entre radar e pluviômetro, no horário de máxima atividade convectiva, entre 12h00 e 18h00, e também para comparar a relação entre os dados num intervalo de tempo maior.

3.8. MODELO DE REFLETIVIDADE DO RADAR E PRECIPITAÇÃO (Z – R)

Obter quantitativamente a precipitação por meio de radares meteorológicos implica em utilizar modelos previamente estabelecidos, desenvolvidos para cada região de origem, levando, muitas vezes, a subestimar ou superestimar os valores das chuvas. Neste trabalho, optou-se por desenvolver um modelo entre os valores de precipitação obtidos dos pluviômetros da área em estudo e os dados de radar. O desempenho do modelo foi posteriormente testado com o modelo desenvolvido por MARSHALL E PALMER (1948), considerado padrão referencial.

Os pluviômetros utilizados totalizam a precipitação em intervalos entre 10 e 30 minutos e são representativos de um ponto, enquanto que o radar disponibiliza uma imagem instantânea tipo CAPPI em um intervalo mínimo de 7,5 minutos e é representativo de uma área. Para a comparação entre essas duas grandezas foram feitas integrações no tempo de 1 e de 6 horas, afim de que os dados fossem colocados na mesma escala temporal. Os resultados obtidos da integração de uma hora foram trabalhados separadamente dos dados obtidos pela integração de 6 horas e, como conseqüência, foram gerados dois modelos.

Nessa etapa do trabalho, os dados de refletividade foram trabalhados como variável Z a fim de que pudessem ser comparados mais facilmente com a relação Z-R, disponível na bibliografia. Foram estabelecidas equações de regressão entre os dados de refletividade e de precipitação para os diferentes tempos de integração.

3.9. MODELO DE REFLETIVIDADE DO RADAR E TEMPERATURA DE BRILHO DO SATÉLITE

Os dados de temperatura de brilho do canal 4 disponíveis em intervalos de 30 minutos foram integrados em intervalos de 1 e de 6 horas para que fossem correlacionados com os dados de refletividade do radar, também integrados em 1 e 6 horas. Posteriormente, foi estabelecida uma equação de regressão entre os dados de refletividade e de temperatura de brilho do canal 4 visando identificar uma relação entre essas variáveis objetivando inferir valores de precipitação à superfície. O dado de referência foi o do radar e a sua refletividade necessitou ser relacionada com valores de precipitação também por meio de modelos.

3.10. MODELO DE AJUSTE ENTRE TEMPERATURA DE BRILHO E PLUVIÔMETRO

Para a estimativa de precipitação utilizando as imagens do canal 4, foram utilizados como referência os dados de quatro pluviômetros de estações meteorológicas automáticas. Como foram utilizados também os dados de refletividade do radar, tornou-se necessária a escolha dos pluviômetros localizados dentro da área de cobertura quantitativa desse último. Foi desenvolvida uma equação de regressão entre os dados do canal 4 e os dados dos pluviômetros, visando testar um ajuste entre eles e comparar seu desempenho com a equação encontrada para o satélite e o radar.

3.11. IDENTIFICAÇÃO DE NUVENS CIRRUS

As nuvens do tipo cirrus são facilmente identificadas como precipitantes nos canais do infravermelho levando a superestimativa de precipitação em superfície. Nesse estudo, primeiramente, foram obtidos os dados dos pluviômetros e posteriormente os dados que seriam utilizados como variáveis preditoras, do radar e do satélite. Nesse caso, naturalmente diminui as possibilidades desse tipo de nuvem, sendo maior a probabilidade das nuvens frias estarem realmente associadas à precipitação de superfície.

A partir da diferença entre os canais 3 e 4 é possível detectar um limite que identifique a presença de sistemas convectivos profundos. BA & GRUBER (2001) utilizaram essa diferença para nuvens com temperaturas menores do que 220K e encontraram 1,5K como

sendo o valor adequado. Neste estudo utilizou-se a relação entre a diferença obtida por esses dois canais e a refletividade visando mostrar o universo de nuvens utilizadas no trabalho.

3.12. VERIFICAÇÃO DA PERFORMANCE DO MODELO DE ESTIMATIVA DE PRECIPITAÇÃO, TENDO COMO REFERÊCIA A REFLETIVIDADE DO RADAR

A performance do modelo entre refletividade do radar e temperatura de brilho do canal 4 foi testada utilizando-se uma tabela de contingência. O valor de referência de refletividade adotado foi 20dBZ, considerando-se que corresponde a aproximadamente 1mm/h. A tabela de contingência levou em consideração quatro condições, a saber; temperatura de brilho maior do que determinado limiar e refletividade maior do que 20dBZ para indicação de falhas, temperatura de brilho maior do que determinado limiar e refletividade menor do que 20dBZ para indicação de negativa correta, temperatura de brilho menor do que determinado limiar e refletividade maior do que 20dBZ para indicação de acerto e temperatura de brilho menor do que determinado limiar e refletividade menor do que 20dBZ como indicativa de alarme falso. Buscou-se com isso avaliar a possibilidade de se estimar condições ou não de chuvas para fins práticos de monitoramento de intervalos de estiagens utilizando-se imagens de satélites.

Tabela 4. Modelo da tabela de contingência

		Observado		
		Sim	Não	
Previsto	Sim	Acerto	Alarme falso	Total
	Não	Falhas	Negativa correta	Total
		Total	Total	

A Figura 4 mostra uma síntese dos procedimentos realizados neste trabalho para a estimativa de precipitação por satélite.

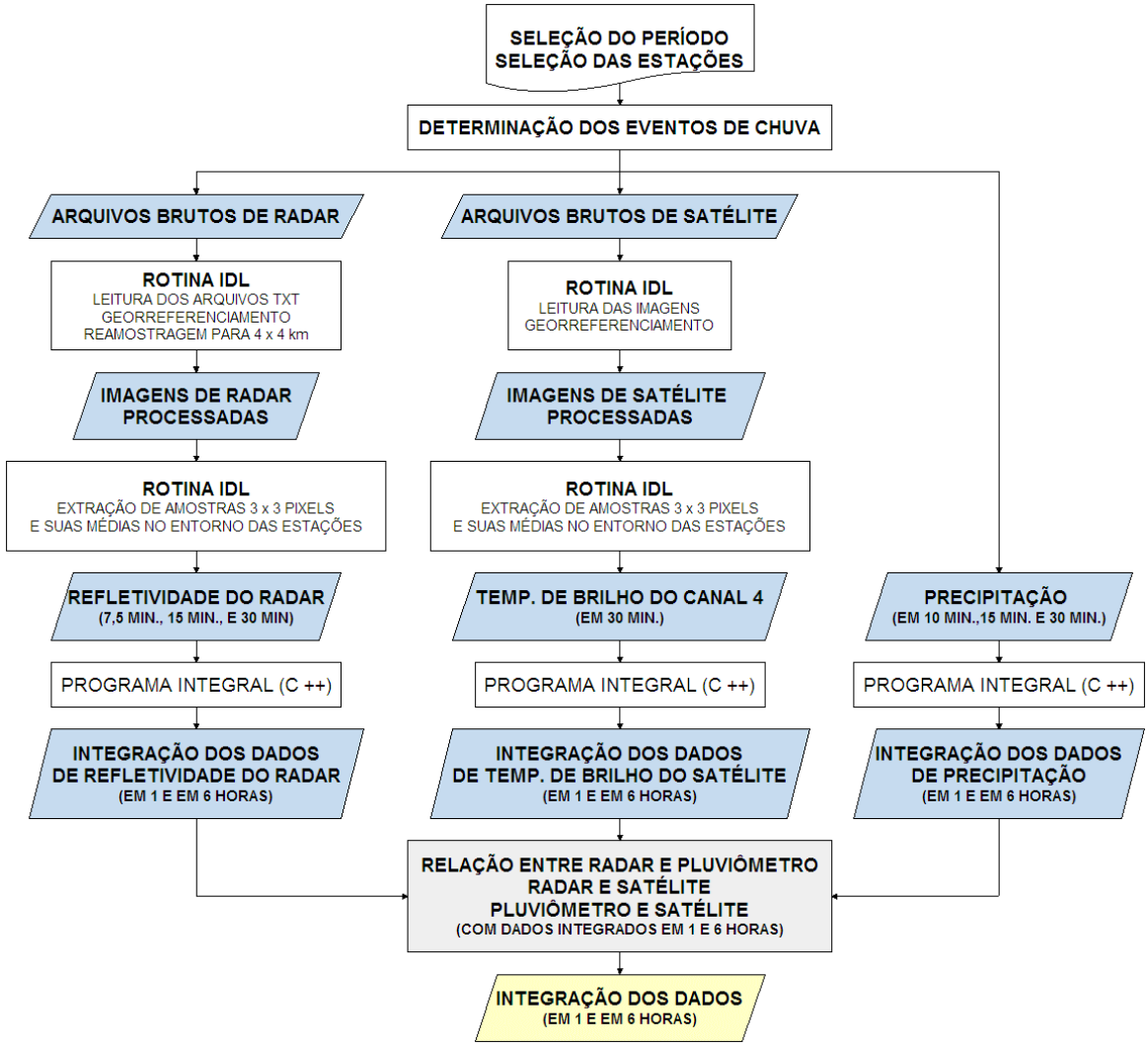

Figura 5. Fluxograma do sistema de estimativa de precipitação por meio do canal 4 do GOES.

4. RESULTADOS

4.1. MODELOS UTILIZANDO DADOS INTEGRADOS EM 6 HORAS

4.2. REFLETIVIDADE E TEMPERATURA DE BRILHO

A refletividade do radar em dBZ foi transformada para Z, facilitando as integrações no tempo de 1 e 6 horas. Posteriormente, os resultados foram transformados em dBZ para comparação com os dados de temperatura de brilho do canal 4 do satélite.

Com os dados de refletividade do radar e de temperatura de brilho do canal 4 do satélite integrados para períodos de 6 horas, foi calculada uma curva de ajuste entre essas variáveis, inicialmente utilizando dados de todas as estações e, posteriormente, o estudo foi desenvolvido para cada estação, individualmente.

VICENTE *et al*. (1998) calcularam a temperatura de brilho média do canal 4 para cada intervalo unitário de volume de precipitação obtido pelo radar. No presente trabalho, foi feita uma adaptação dessa metodologia, calculando-se valores médios de temperatura de brilho para intervalos de 5dBZ. A Figura 5 ilustra o modelo entre a refletividade e a temperatura de brilho para o período de 6 horas. Os resultados obtidos indicam um aumento nos valores de dBZ enquanto diminui a temperatura de brilho.

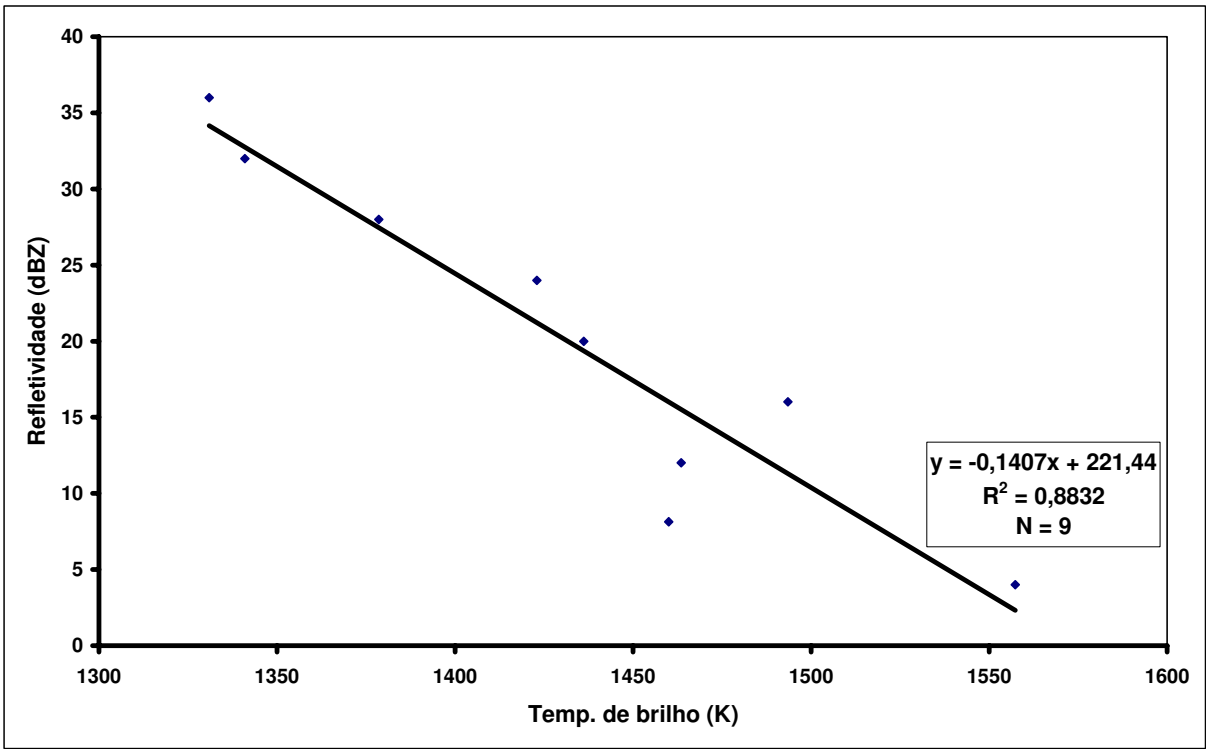

Figura 6. Curva de ajuste entre a temperatura de brilho do canal 4 e refletividade no período de 6 horas para o conjunto das quatro estações meteorológicas.

As curvas de ajuste entre os dados de temperatura de brilho do canal 4 do satélite e refletividade do radar, para o mesmo intervalo de 6 horas, calculadas individualmente para cada estação, estão ilustradas nas Figuras 6 a 9. As equações com os maiores coeficientes de determinação (r^2) foram as de Piracicaba - COPERSUCAR e ESALQ (Figuras 6 e 8), ambas no mesmo município, com limites médios de 244K e 239K para condição de chuva. Jaboticabal, com r^2 menor, mas com limiar de 240K, bem próximo da estação com melhor resultado e Pradópolis, com limite de 246K para condição de chuva.

O limiar de 246K encontrado para Pradópolis, embora seja maior do que o normalmente encontrado em trabalhos de estimativa de precipitação, considerando a metodologia adotada que não distinguiu tipos de nuvens convectivas de estratiformes, pode ser comparado ao limiar encontrado por ADLER & NEGRI (1988), que foi de 253K, embora tenha sido ajustado mais tarde para um limiar menor. MACHADO *et al*. (1992), mesmo não tendo trabalhado com estimativas de precipitação, consideram que até 253K podem ser

encontradas nuvens espessas dos níveis médios e nuvens de altos níveis com baixa emissividade.

Além das justificativas citadas acima, uma outra possibilidade que explique a variabilidade dos valores de temperatura de brilho com relação aos diferentes valores de refletividade para as estações, pode ser encontrado em ANTÔNIO (1998) que cita como fonte de erros nas estimativas de chuva por radar, a distância da antena ao alvo.

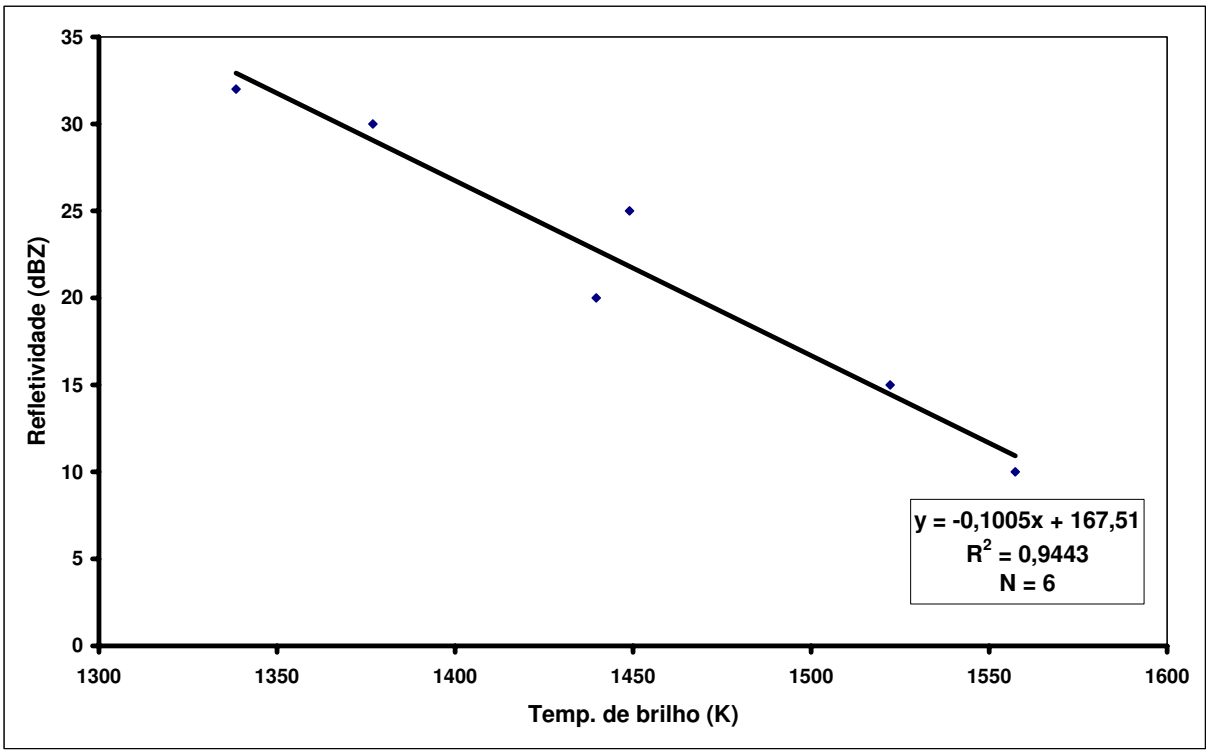

Figura 7. Curva de ajuste entre a temperatura de brilho do canal 4 e refletividade para período de 6 horas, estação meteorológica de Piracicaba.

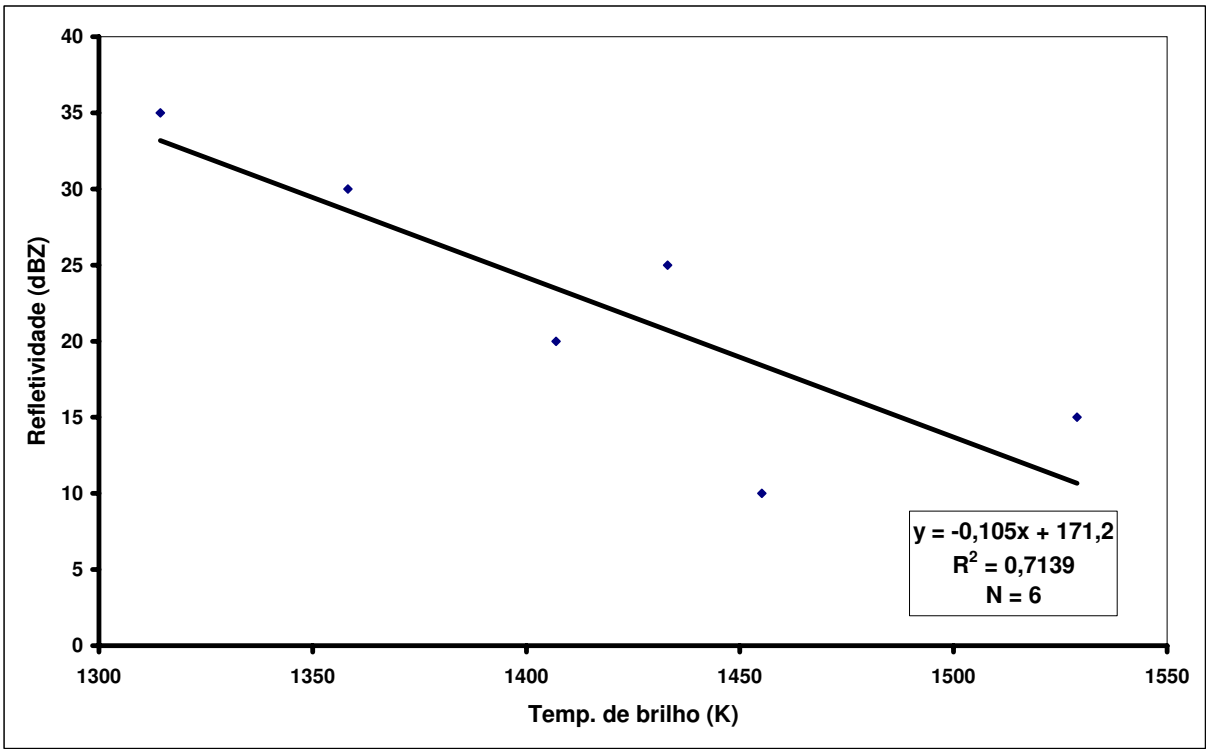

Figura 8. Curva de ajuste entre a temperatura de brilho do canal 4 e refletividade para período de 6 horas, estação meteorológica de Jaboticabal.

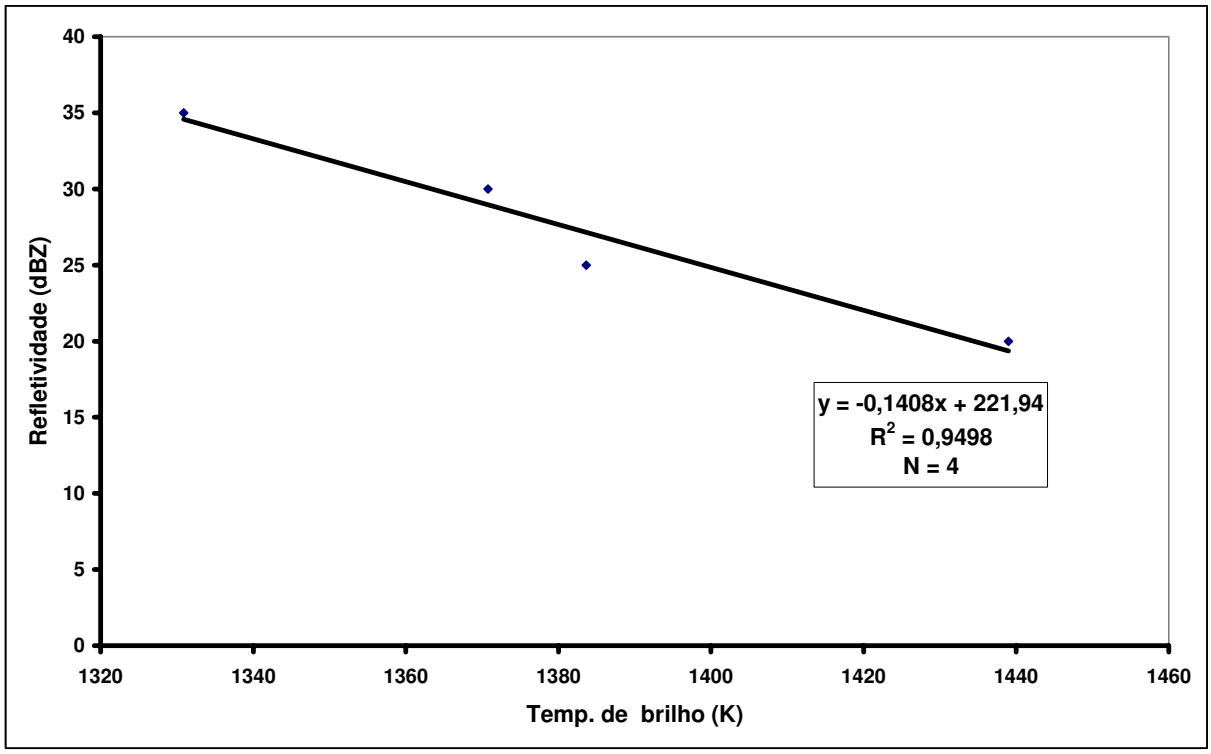

Figura 9. Curva de ajuste entre a temperatura de brilho do canal 4 e refletividade para período de 6 horas, estação meteorológica da ESALQ.

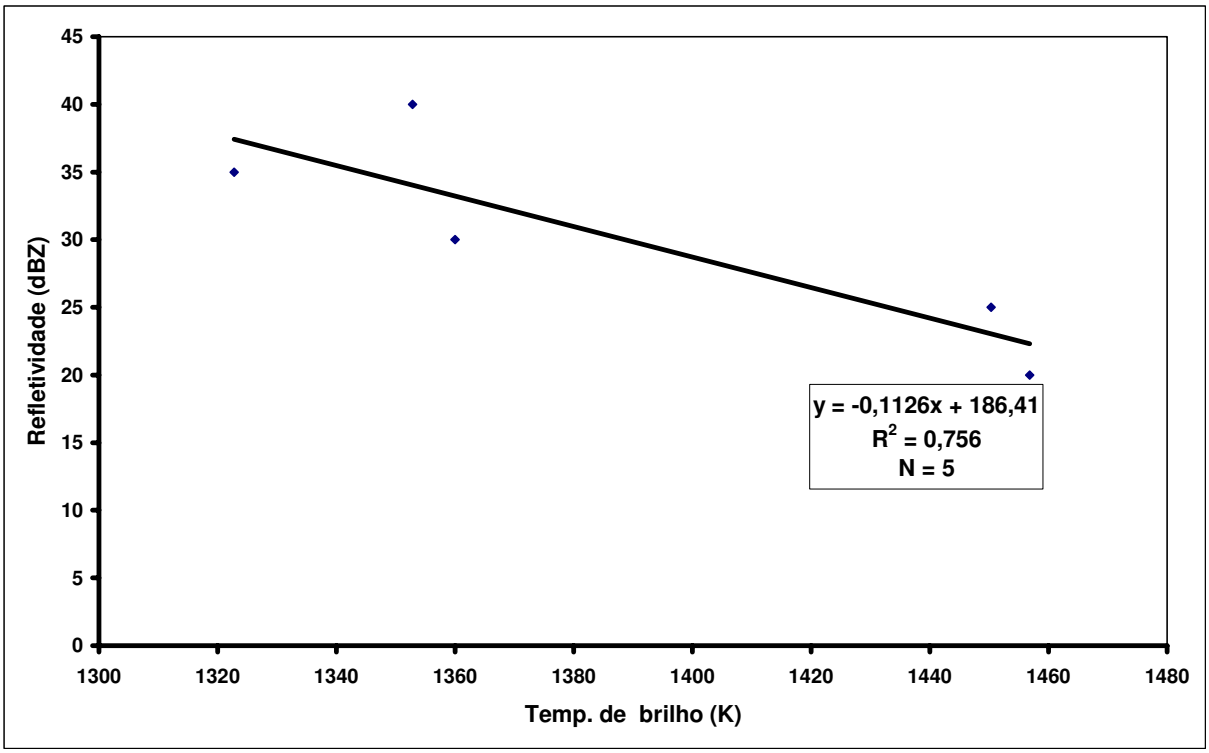

Figura 10. Curva de ajuste entre a temperatura de brilho do canal 4 e refletividade para período de 6 horas, estação meteorológica de Pradópolis.

4.3. REFLETIVIDADE E PRECIPITAÇÃO (Z – R)

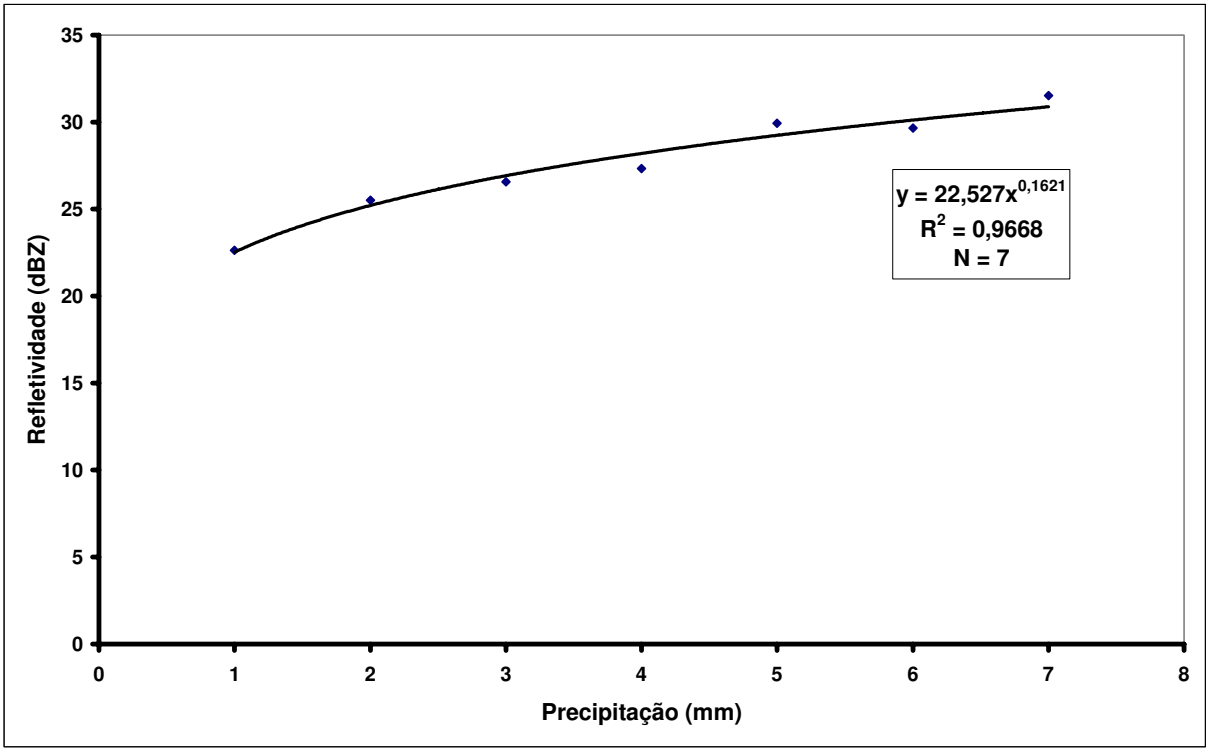

Figura 11. Curva de ajuste entre refletividade e precipitação para o período de 6 horas para o conjunto das quatro estações meteorológicas.

Quando são comparados os modelos de 1 e 6h ao método de MARSHALL & PALMER (1948) verificou-se que este foi o que mais se aproximou dos dados observados nos pluviômetros. Esses resultados podem estar relacionados a fatores como: pequeno número de pluviômetros utilizados na pesquisa, sendo necessária uma rede mais densa dentro da área de cobertura quantitativa do radar; a amostragem de dados utilizados deve ser maior, representativa da área e das condições de tempo da região e por último, o correto posicionamento geográfico e manutenção das estações pode levar a erros em estudos como este, em que são vários os fatores envolvidos e a diversidade de dados é muito grande.

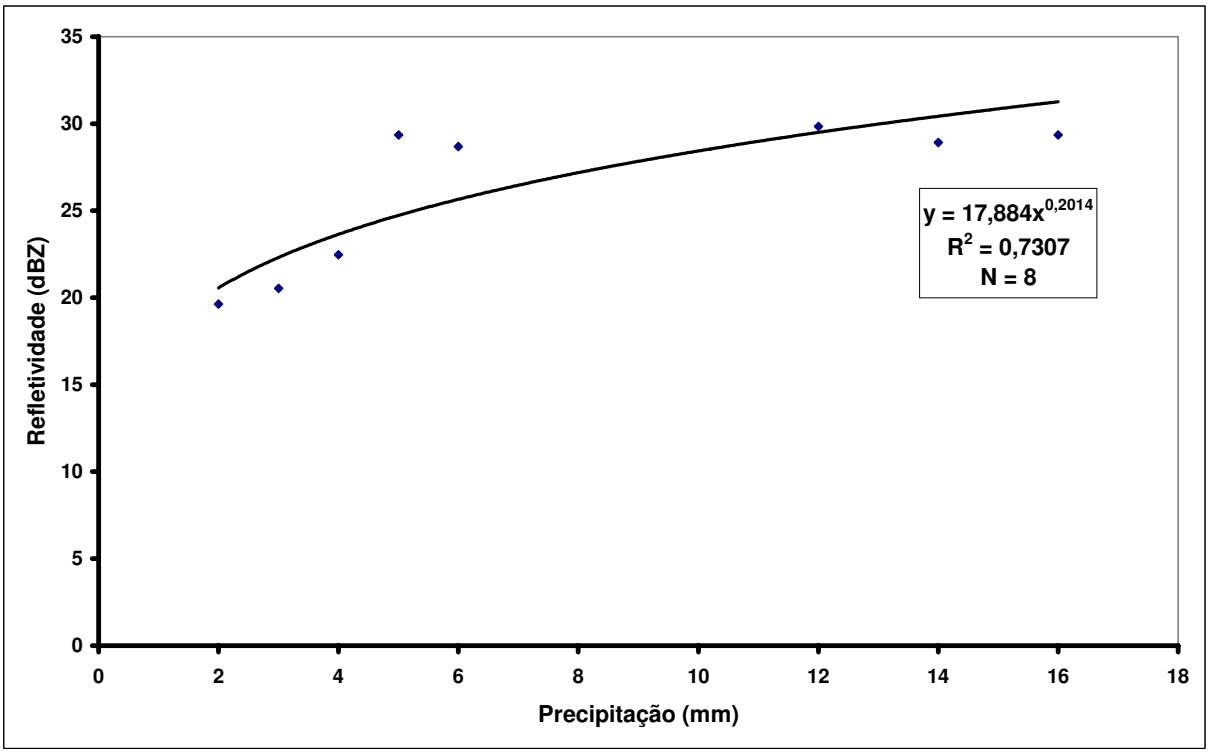

Figura 12. Curva de ajuste entre refletividade e precipitação para o período de 6 horas, estação meteorológica de Piracicaba.

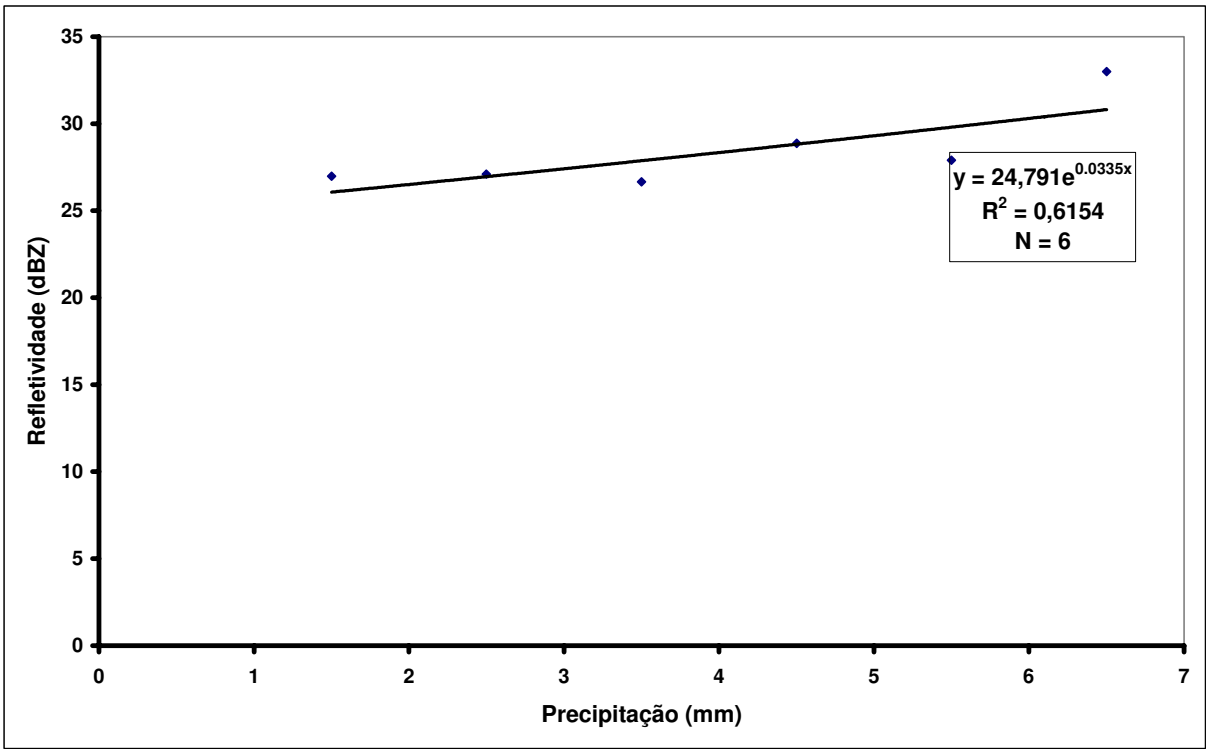

Figura 13. Curva de ajuste entre refletividade e precipitação para o período de 6 horas, estação meteorológica de Jaboticabal.

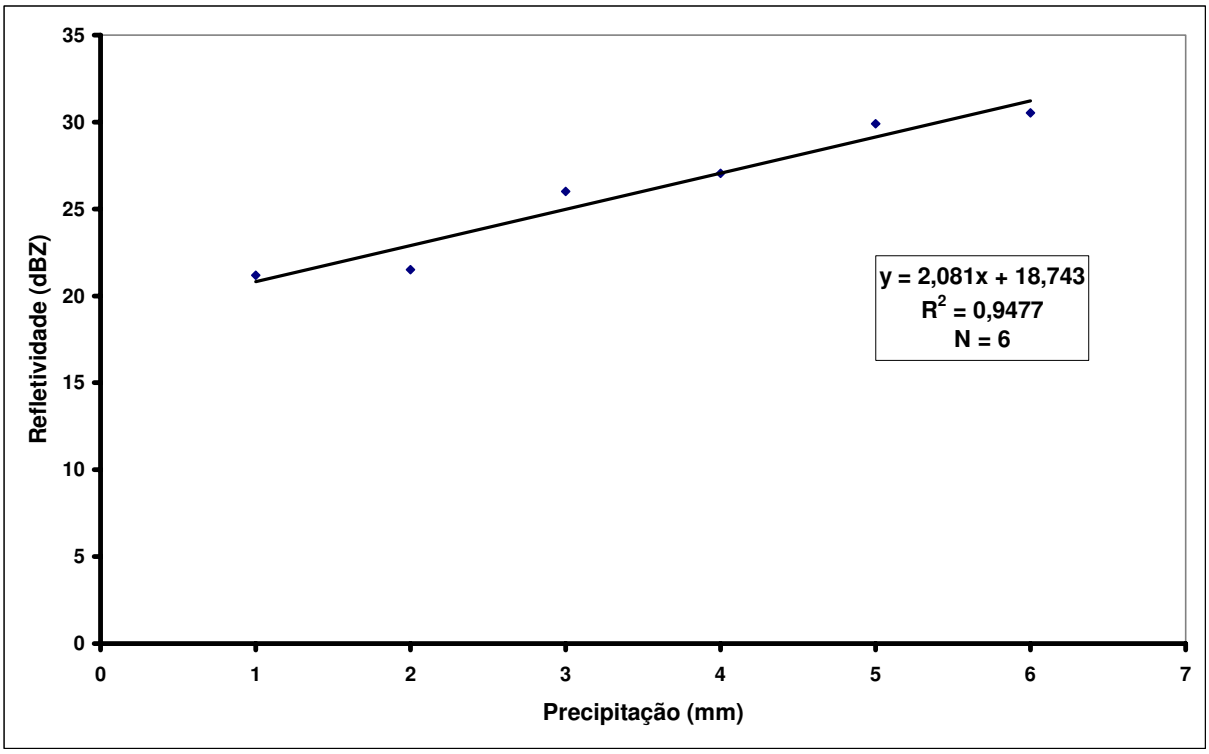

Figura 14. Curva de ajuste entre refletividade e precipitação para o período de 6 horas, estação meteorológica da ESALQ.

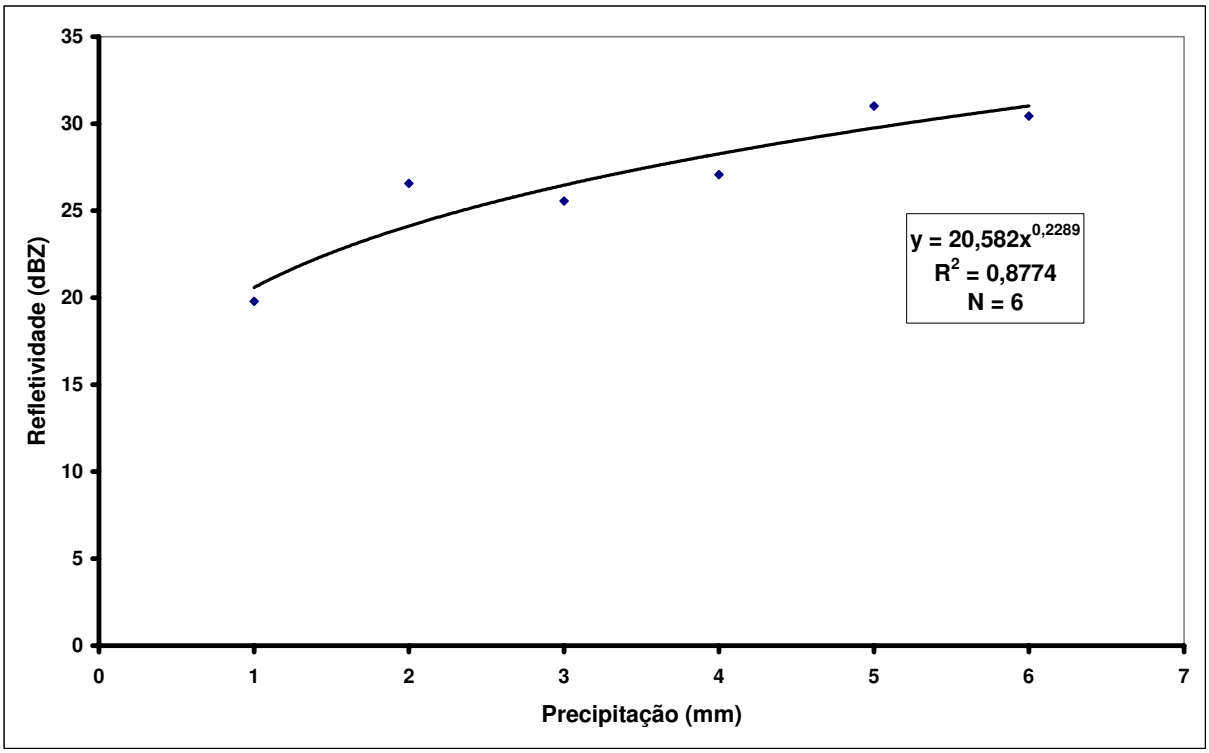

Figura 15. Curva de ajuste entre refletividade e precipitação para o período de 6 horas, estação meteorológica de Pradópolis.

4.4. PRECIPITAÇÃO E TEMPERATURA DE BRILHO

As Figuras 16 a 21 ilustram a relação entre a precipitação medida nos pluviômetros e integrada para intervalos de 6 horas e a temperatura de brilho, também integrada para 6 horas. Como houve uma dispersão relativamente grande no modelo para valores elevados de precipitação, mais precisamente para valores acima de 12mm, foram estabelecidos dois modelos, conforme ilustram as Figuras 16 e 17. A Figura 16 ilustra a equação para intervalos de precipitação com máximo de 8mm e a Figura 17 ilustra o modelo incluindo todos os dados, com uma precisão menor, entretanto o valor limite para ser considerado como condição de precipitação, ou seja, acima de 1mm, praticamente não muda. Pela Figura 16, pode ser considerada condição de precipitação valores de 246K em média e, para a Figura 17, 245K.

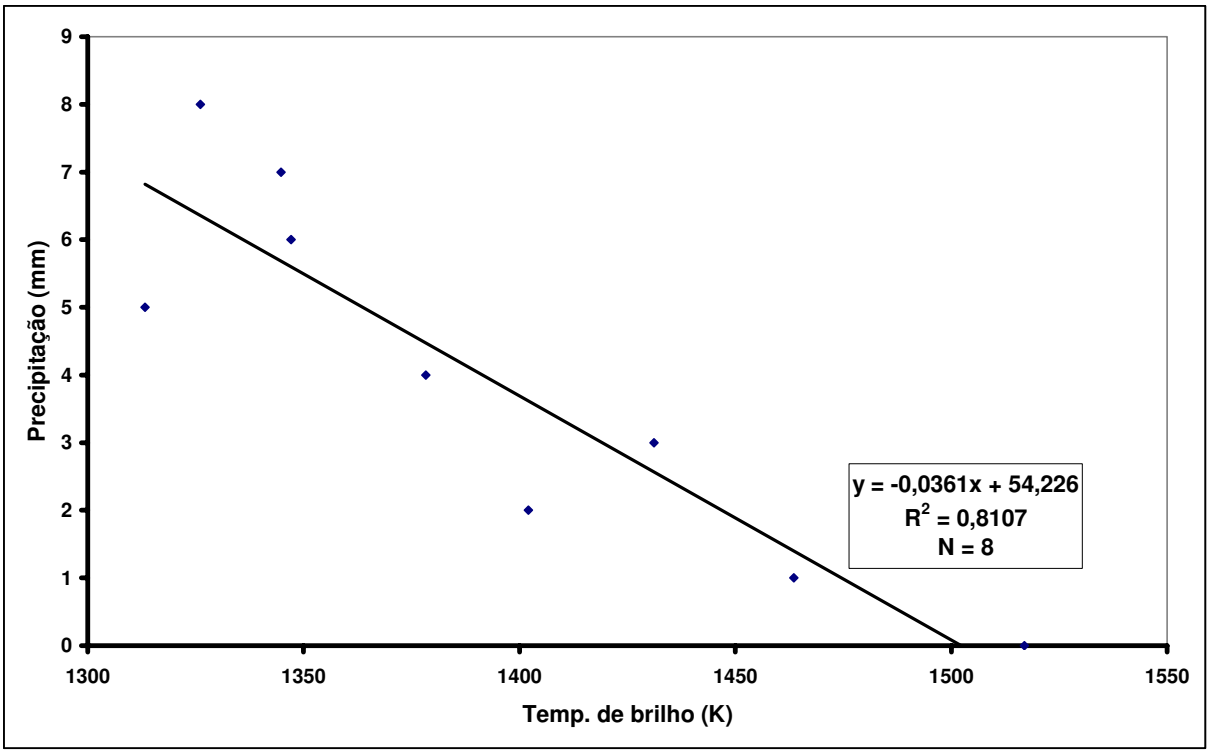

Figura 16. Curva de ajuste entre precipitação e temperatura de brilho do canal 4 para o período de 6 horas para o conjunto das quatro estações meteorológicas.

Considerando o modelo de ajuste entre satélite e radar e utilizando-se o período de integração de 6 horas, o limiar de 239K corresponde a aproximadamente 20dBZ que corresponde 1mm na relação Z – R, utilizando-se a relação satélite/pluviômetro para o mesmo período de integração, 1mm corresponde a 246K. Mesmo este limiar sendo razoável, o modelo entre radar e satélite apresentou melhor performance.

Nesse caso em que são considerados dados de pluviômetros e de satélites, para intervalos de 1 e 6 horas, foi verificado que o modelo para o intervalo de 1 hora mostrou-se mais concordante com os resultados da bibliografia do que o intervalo médio de 6 horas, tanto quando foi considerado o conjunto de dados, quanto para as estações meteorológicas individualmente.

No caso de considerar os dados de cada estação, o modelo encontrado para Piracicaba mostrou o pior desempenho, 257K (Figura 18), principalmente considerando a estação da ESALQ, no mesmo município, com um limiar de 243K, pouco superior ao limiar para os dados do radar e do satélite, que foi de 239K.

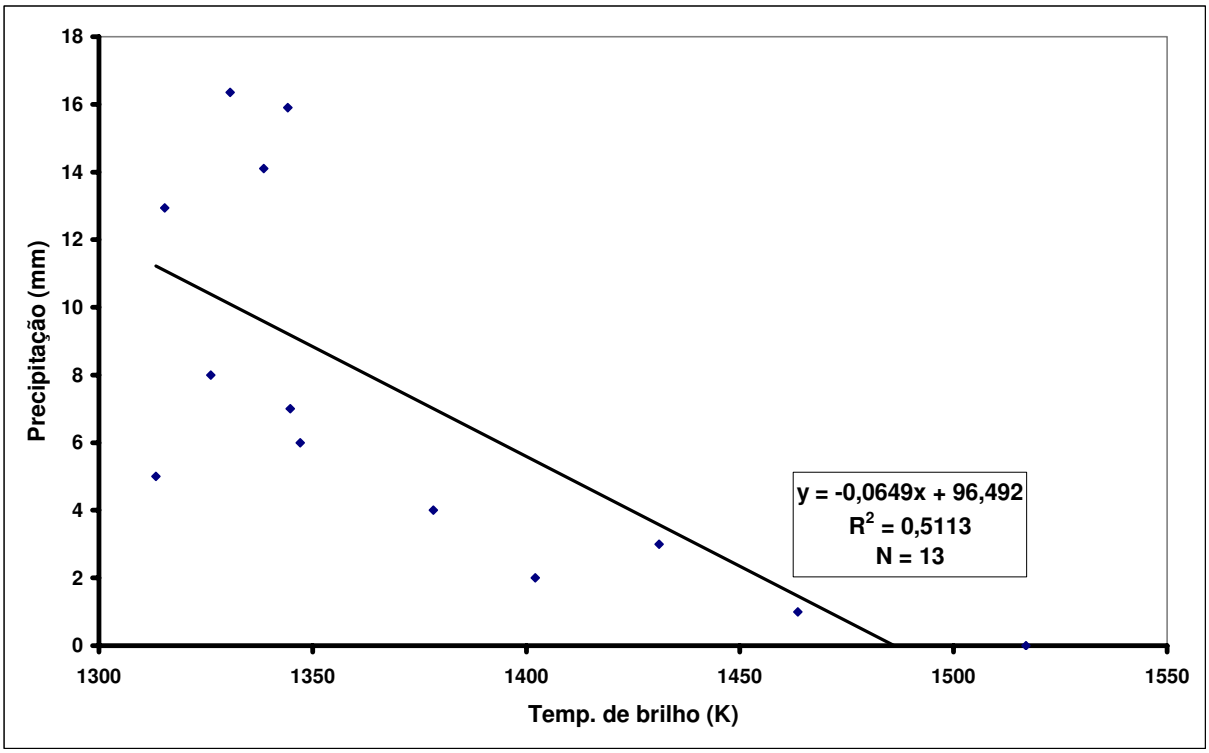

Figura 17. Curva de ajuste entre precipitação e temperatura de brilho para o período de 6 horas para o conjunto das quatro estações meteorológicas.

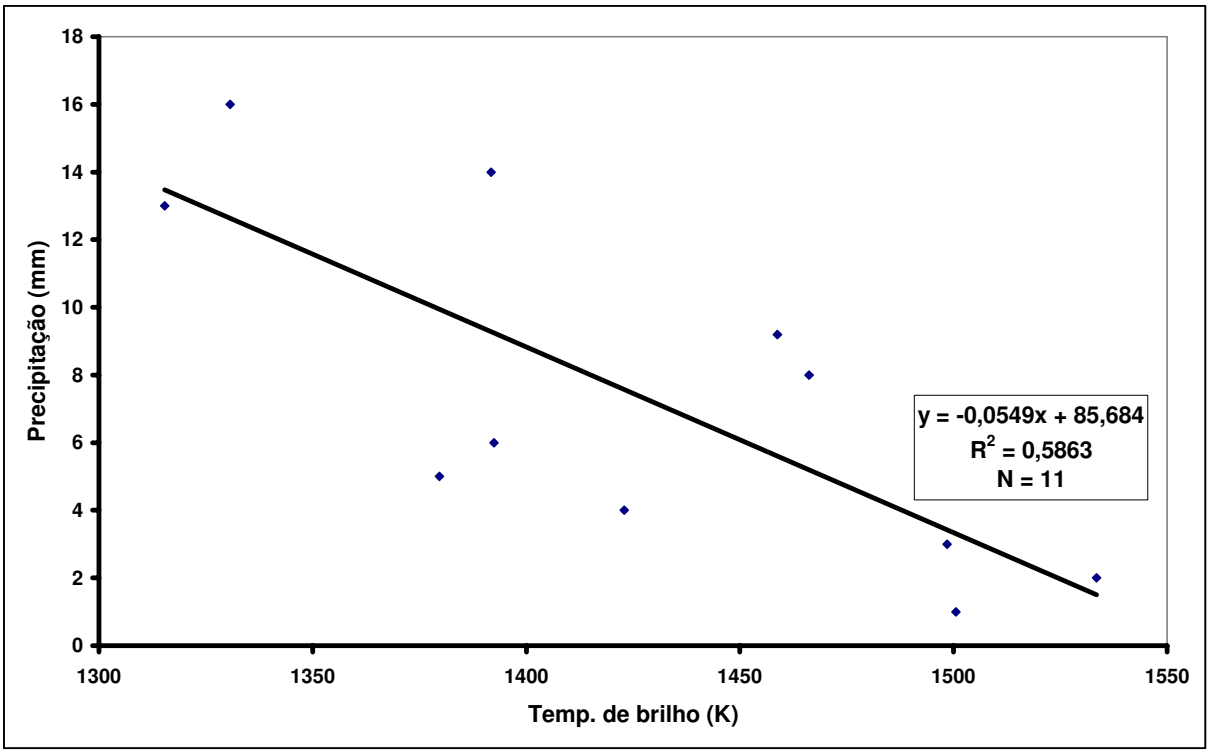

Figura 18. Curva de ajuste entre precipitação e temperatura de brilho para o período de 6 horas, estação meteorológica de Piracicaba.

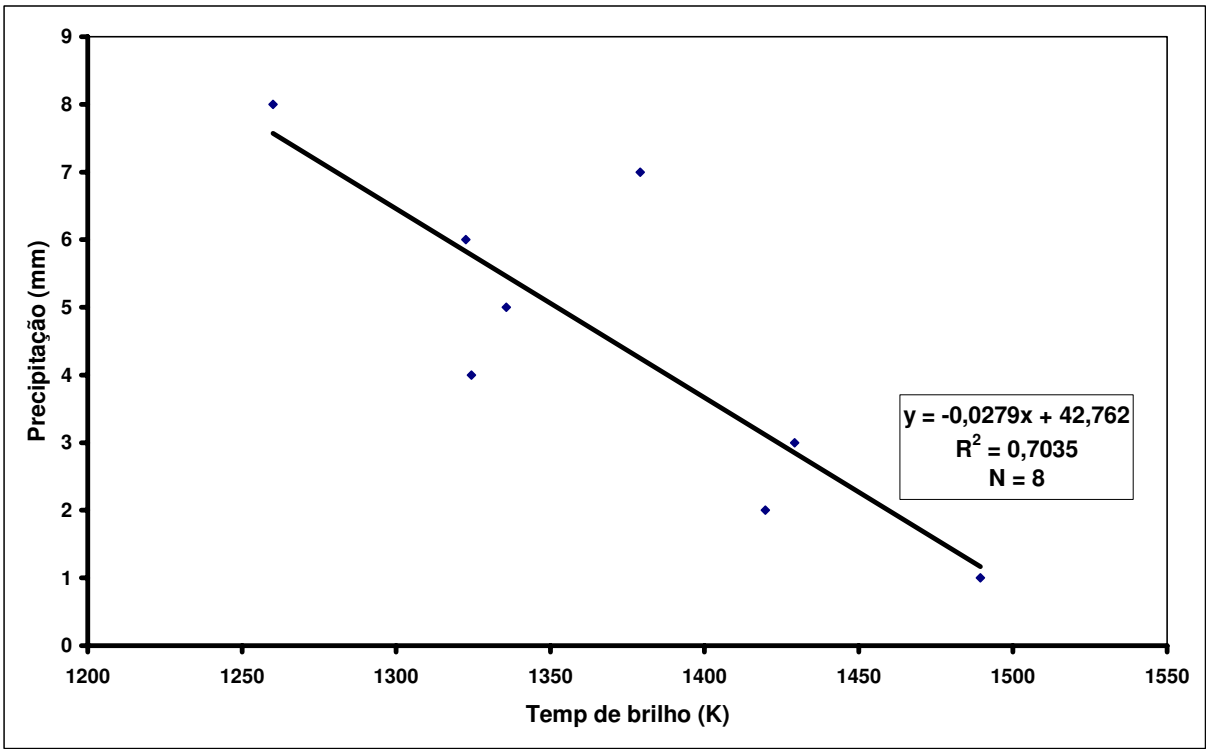

Figura 19. Curva de ajuste entre precipitação e temperatura de brilho para o período de 6 horas, estação meteorológica de Jaboticabal.

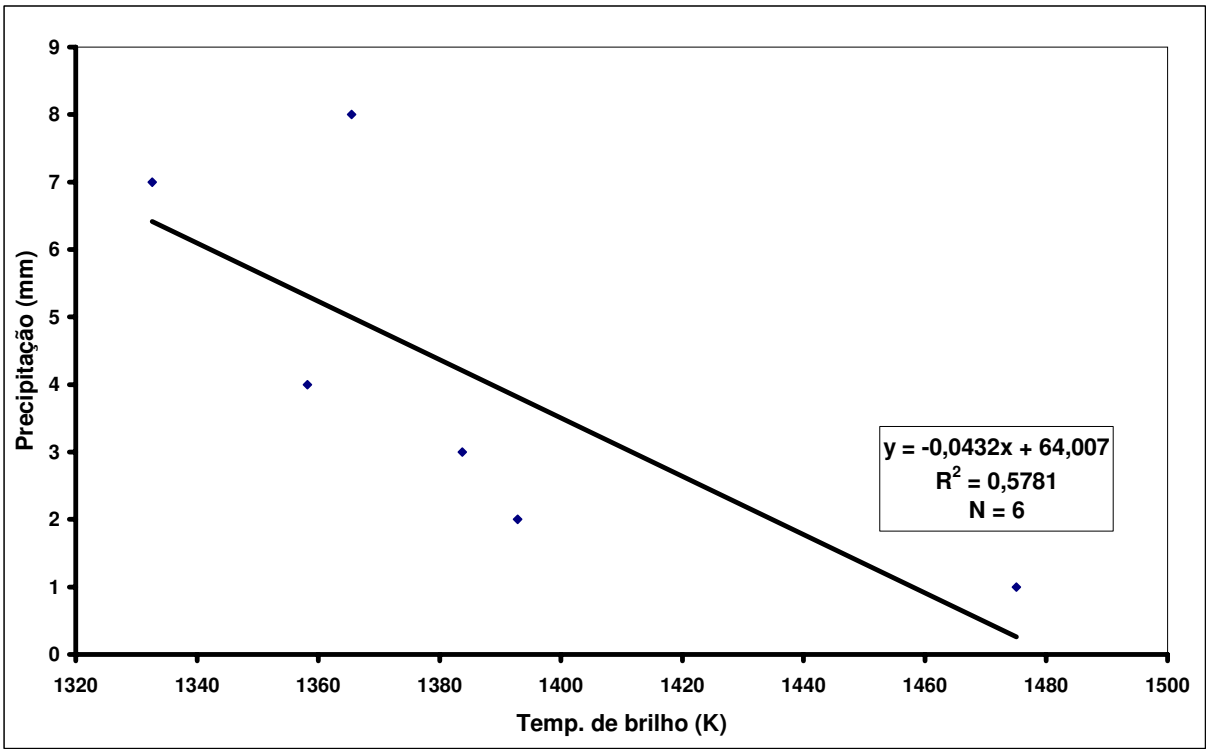

Figura 20. Curva de ajuste entre precipitação e temperatura de brilho do canal 4 para o período de 6 horas, estação meteorológica da ESALQ.

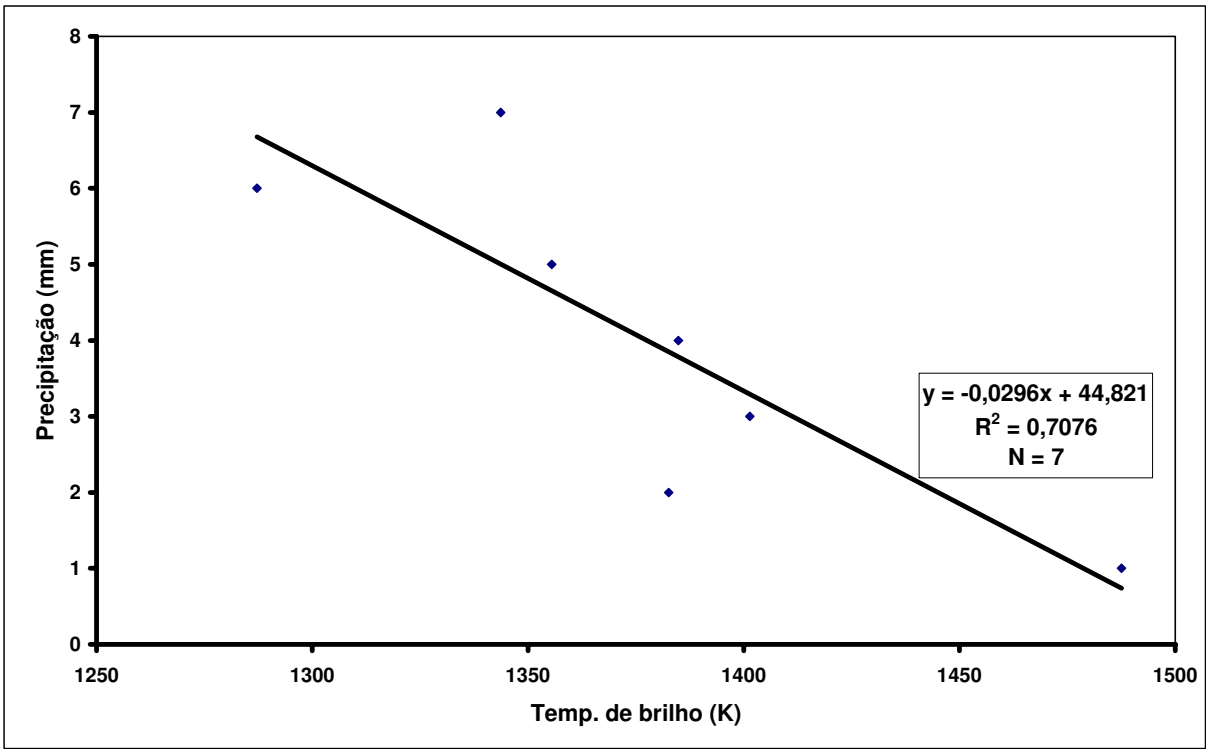

Figura 21. Curva de ajuste entre precipitação e temperatura de brilho do canal 4 para o período de 6 horas, estação meteorológica de Pradópolis.

4.5. INTERVALO ACUMULADO DE 1 HORA

4.5.1. AJUSTE ENTRE REFLETIVIDADE E TEMPERATURA DE BRILHO

As Figuras 22 a 26 ilustram a relação entre refletividade e temperatura de brilho do canal 4 integrado para períodos de 1 hora. A Figura 22 representa os resultados utilizando os dados de todas as estações e as Figuras de 23 a 26 representam os ajustes para cada estação. Conforme descrito anteriormente, quando foram utilizados os dados integrados para o período de uma hora, os resultados se aproximaram mais dos encontrados na bibliografia sobre métodos de estimativa de precipitação, como ADLER E NEGRI (1993). Esse resultado pode estar associado ao fato de que o processo de formação e enfraquecimento dos sistemas de nuvens é muito dinâmico e o intervalo de 1 hora é mais sensível a essas mudanças do que o intervalo de 6 horas. Modelos de estimativa de precipitação como o de NEGRI E ADLER (1981) utilizam dados de satélite e de radar a cada 5 minutos.

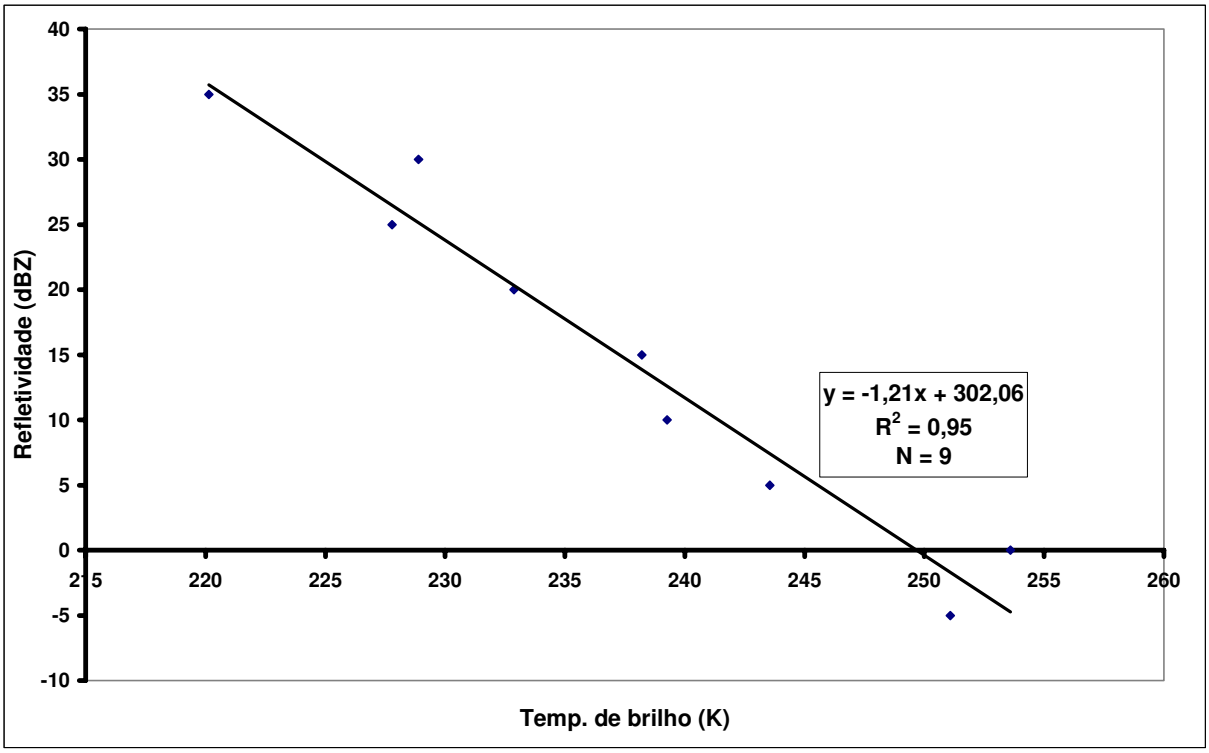

Figura 22. Curva de ajuste entre temperatura de brilho do canal 4 e refletividade do radar para período horário para o conjunto das quatro estações meteorológicas.

SCOFIELD (1994) trabalhando com a região de cobertura do radar de Ponte Nova em São Paulo encontrou 225K e 229K, respectivamente, como valores de temperatura limiar para condições de chuva naquela região. CARVALHO (1992) encontrou 233K como sendo a temperatura limiar para condições de chuvas na região de cobertura do radar meteorológico de Bauru, mesma área utilizada neste estudo.

Conforme a equação ilustrada na Figura 22 utilizando-se dados integrados para o período horário, o modelo que utiliza todas as estações estima que para um valor de 20dBZ, espera-se um limiar de 233K. Aumentando a refletividade do radar diminui o valor de temperatura de brilho.

Considerando que o melhor resultado para a relação Z – R encontrada neste estudo foi quando se utilizaram períodos de integração de 6 horas e que esse resultado se aproxima da equação de MARSHALL & PALMER (1948), pode se afirmar que há uma forte relação entre a refletividade do radar em torno de 20dBZ e a precipitação em torno de 1mm/h. Partindo-se

dessa premissa, verificando-se o resultado do modelo ilustrado na Figura 22, o limiar para condições de precipitação pode ser considerado a partir de 233K.

Mesmo sendo em outro período de tempo, os valores são muito próximos aos encontrados por CARVALHO (1992), para a mesma região. Os resultados de SCOFIELD (1994) para condições de precipitação são para nuvens bem mais frias, segundo o autor isso se deve à ocorrência de uma maior freqüência de nuvens convectivas profundas nos trópicos, conseqüentemente topos com temperaturas mais baixas.

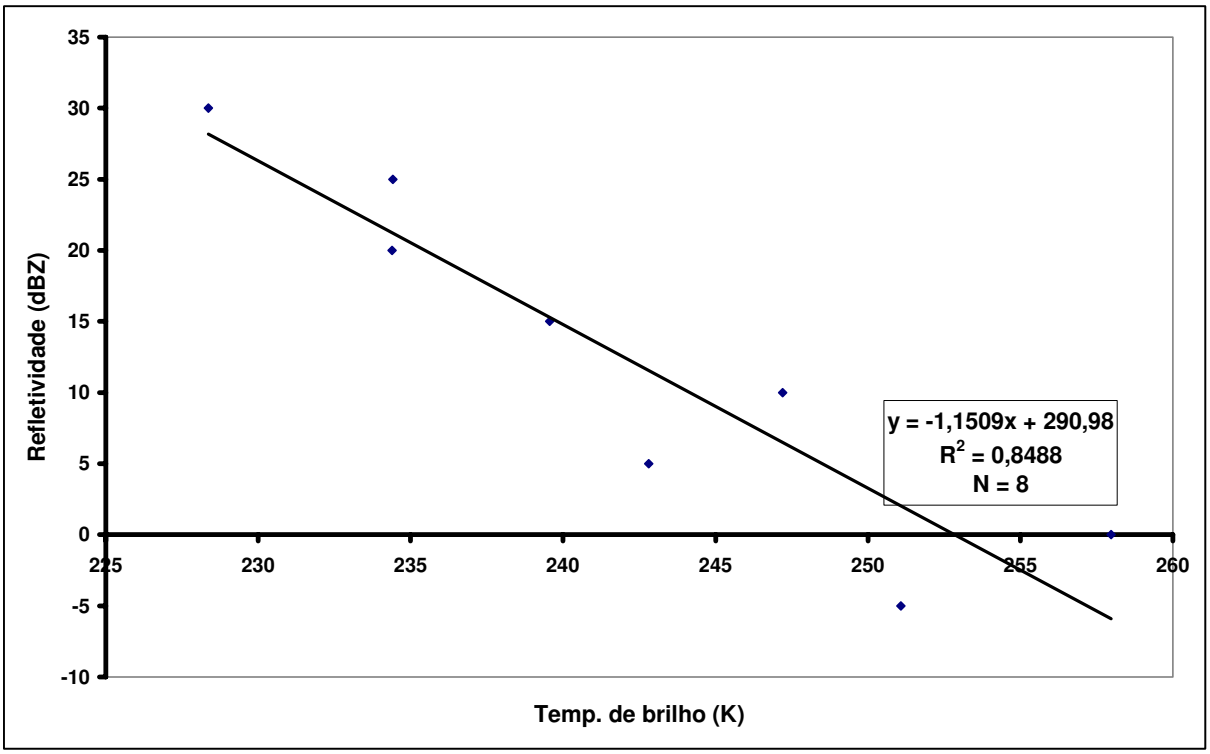

Figura 23. Curva de ajuste entre temperatura de brilho e refletividade para período horário, estação meteorológica de Piracicaba.

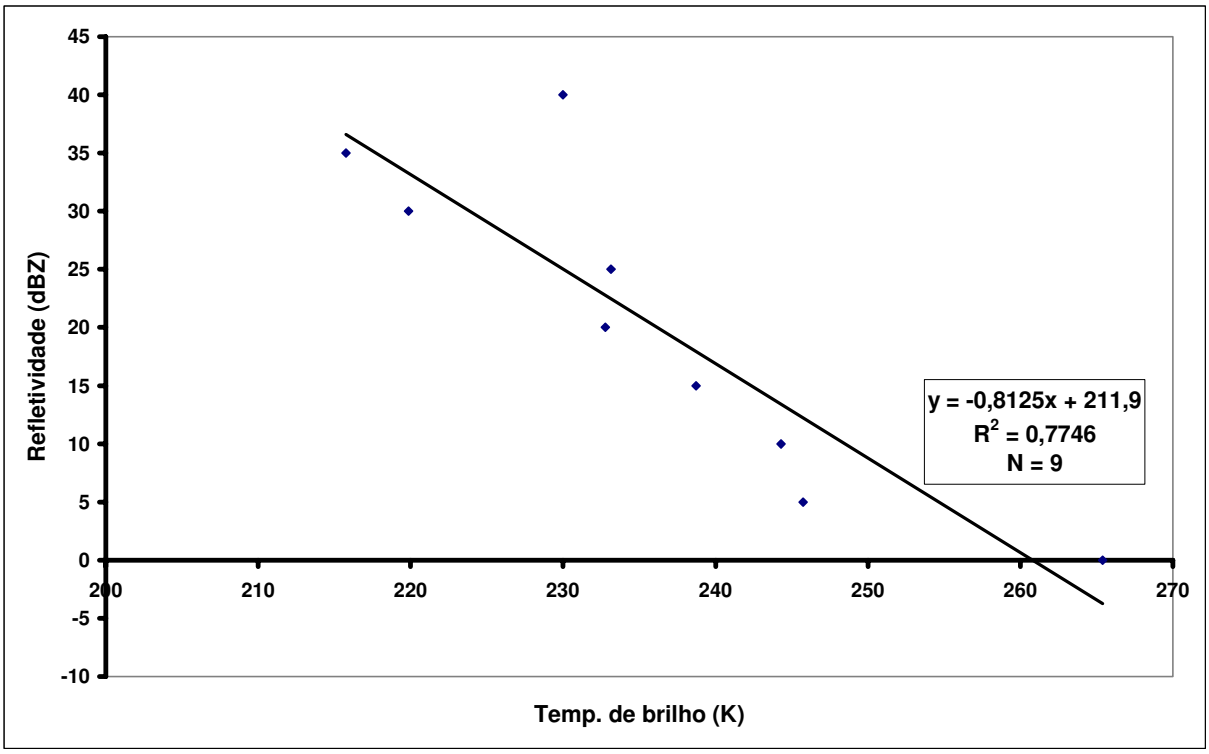

Figura 24. Curva de ajuste entre temperatura de brilho do canal 4 e refletividade para período horário, estação meteorológica de Jaboticabal.

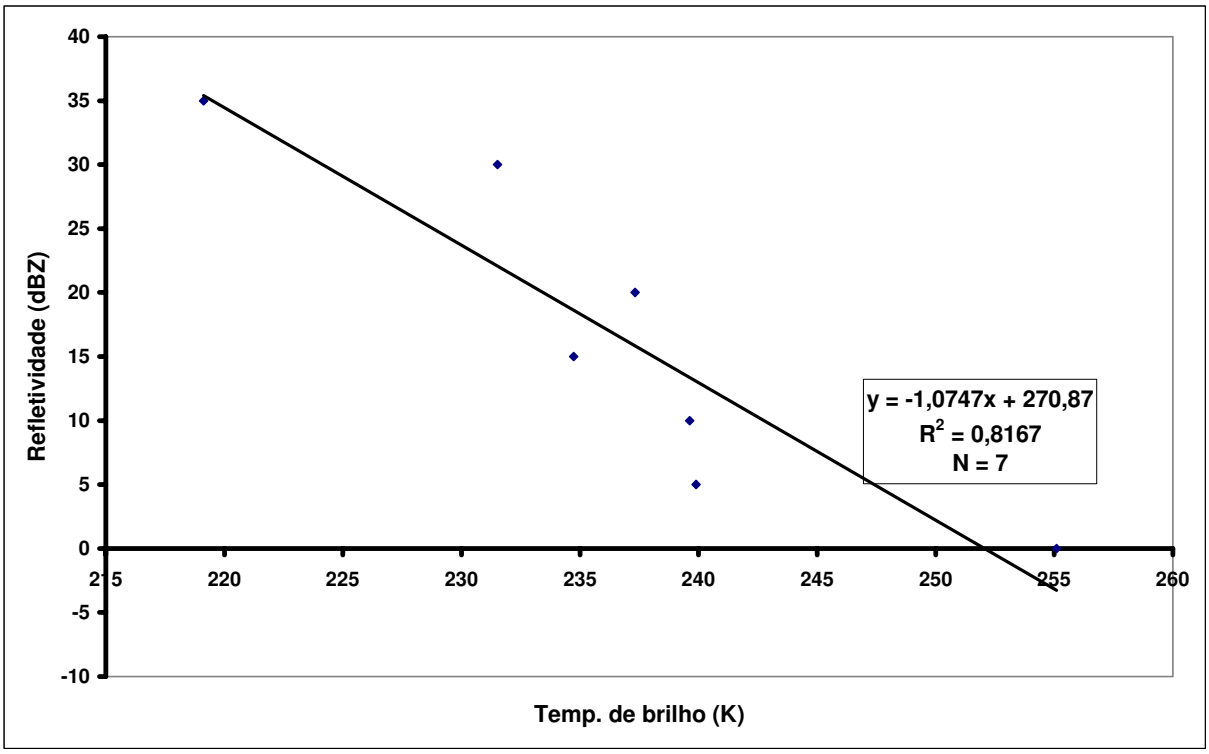

Figura 25. Curva de ajuste entre temperatura de brilho do canal 4 e refletividade para período horário, estação meteorológica da ESALQ.

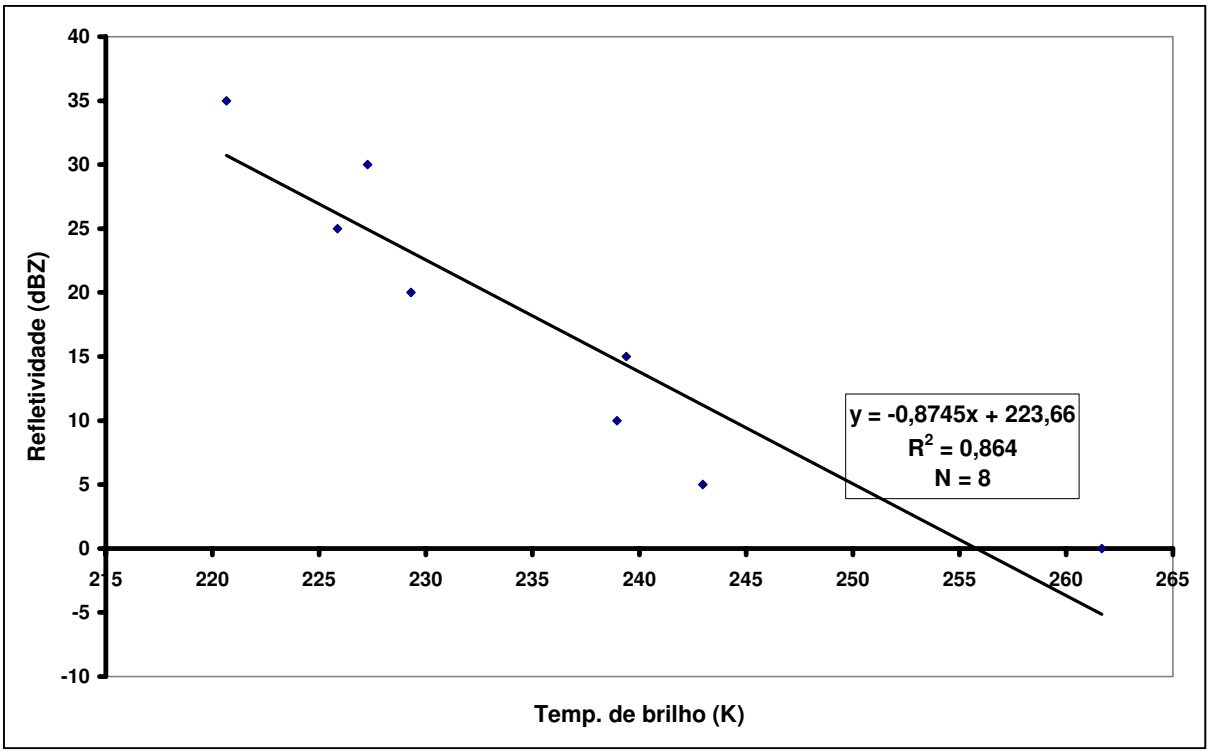

Figura 26. Curva de ajuste entre temperatura de brilho do canal 4 e refletividade para período horário, estação meteorológica de Pradópolis.

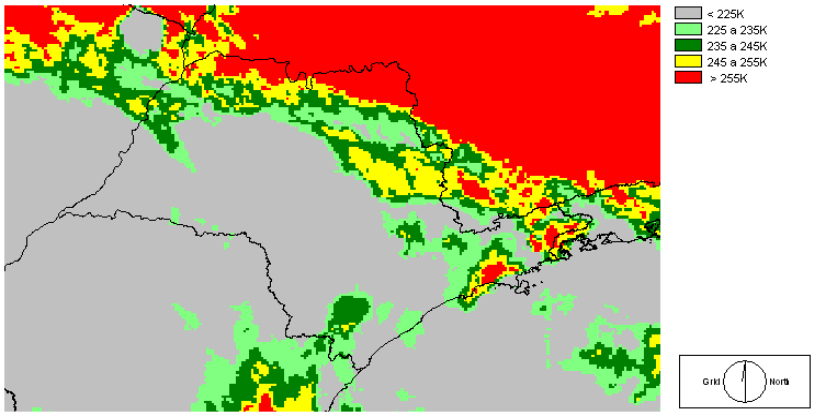

Figura 27. Temperatura de brilho do canal 4, dia 09/12/2003, às 7h40min (horário local).

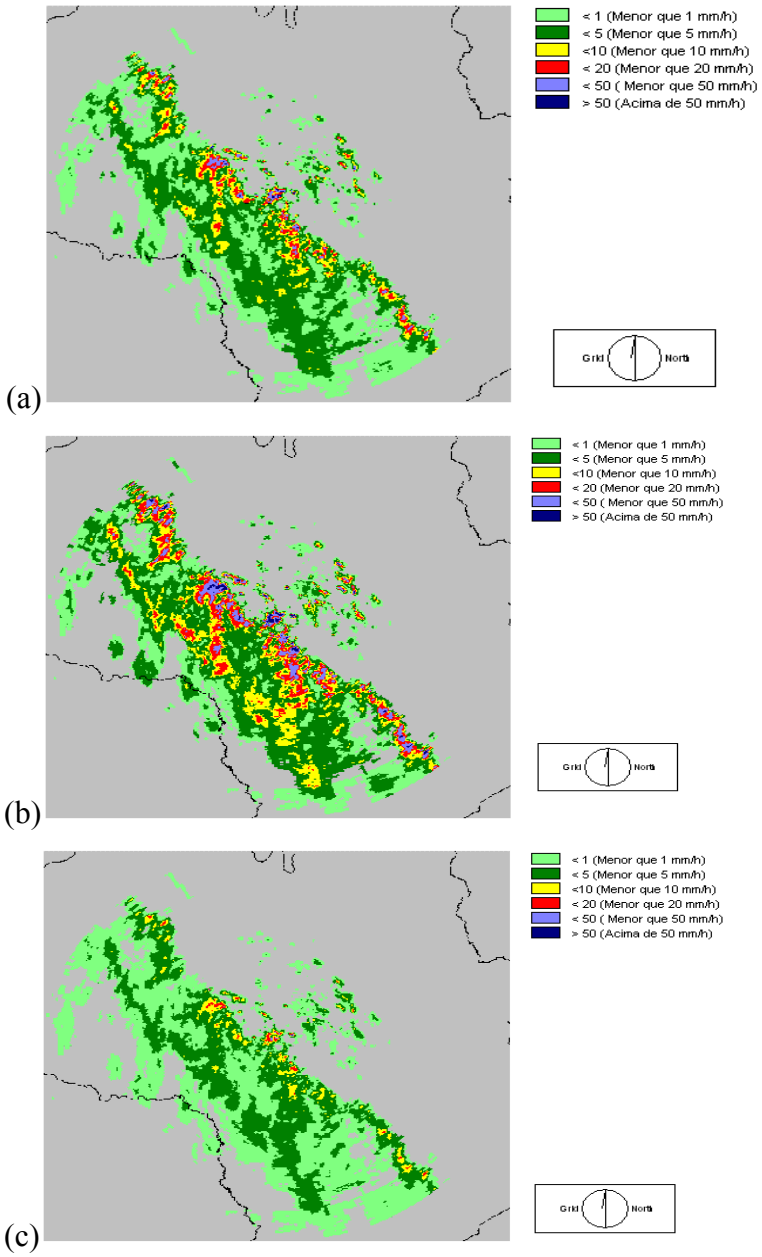

Figura 28. Precipitação estimada pelo modelo utilizando-se os dados integrados no período de 6h (a), no período de 1h (b) e (c) pelo método de MARSHALL & PALMER (1948), para o dia 09/12/2003, às 7h38min (horário local).

4.5.2. AJUSTE ENTRE REFLETIVIDADE E PRECIPITAÇÃO (Z – R)

As Figuras de 29 a 33 ilustram o modelo entre a refletividade dBZ e a precipitação medida nos pluviômetros, ambas interpoladas para período de 6 horas. A Figura 29 ilustra o resultado encontrado quando foram utilizados os dados das quatro estações conjuntamente e as demais representam os dados individualmente.

Nesta etapa adotou-se a mesma metodologia aplicada no item 4.1, calculando-se o valor médio da refletividade em Z a cada 1 mm de precipitação, posteriormente transformando-se Z para dBZ. Os modelos encontrados para os tempos de integração de dados de 1h e de 6h foram comparados entre si e com o tradicional modelo de MARSHALL & PALMER (1948). Ambos os modelos encontrados superestimam a precipitação observada no pluviômetro, entretanto o modelo que utilizou um período maior de integração tende a se aproximar um pouco mais dos dados de referência medidos nos pluviômetros.

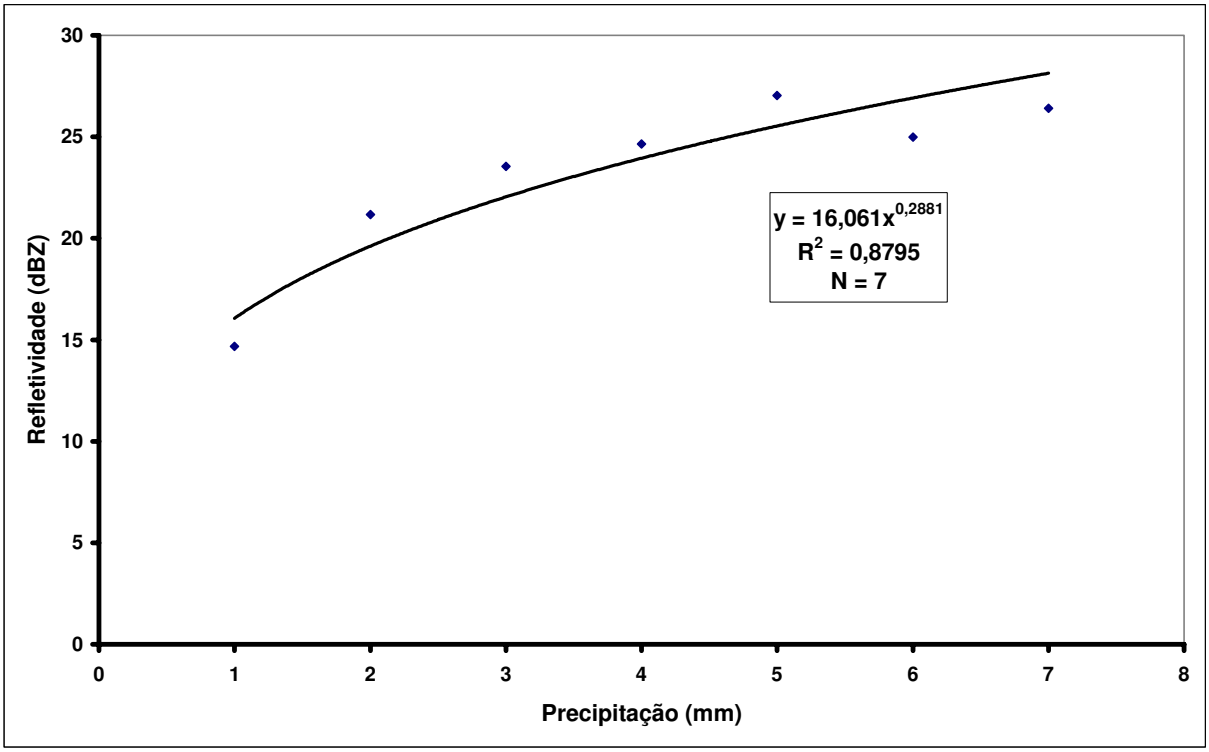

Figura 29. Curva de ajuste entre refletividade e precipitação para períodos horários para as quatro estações em estudo.

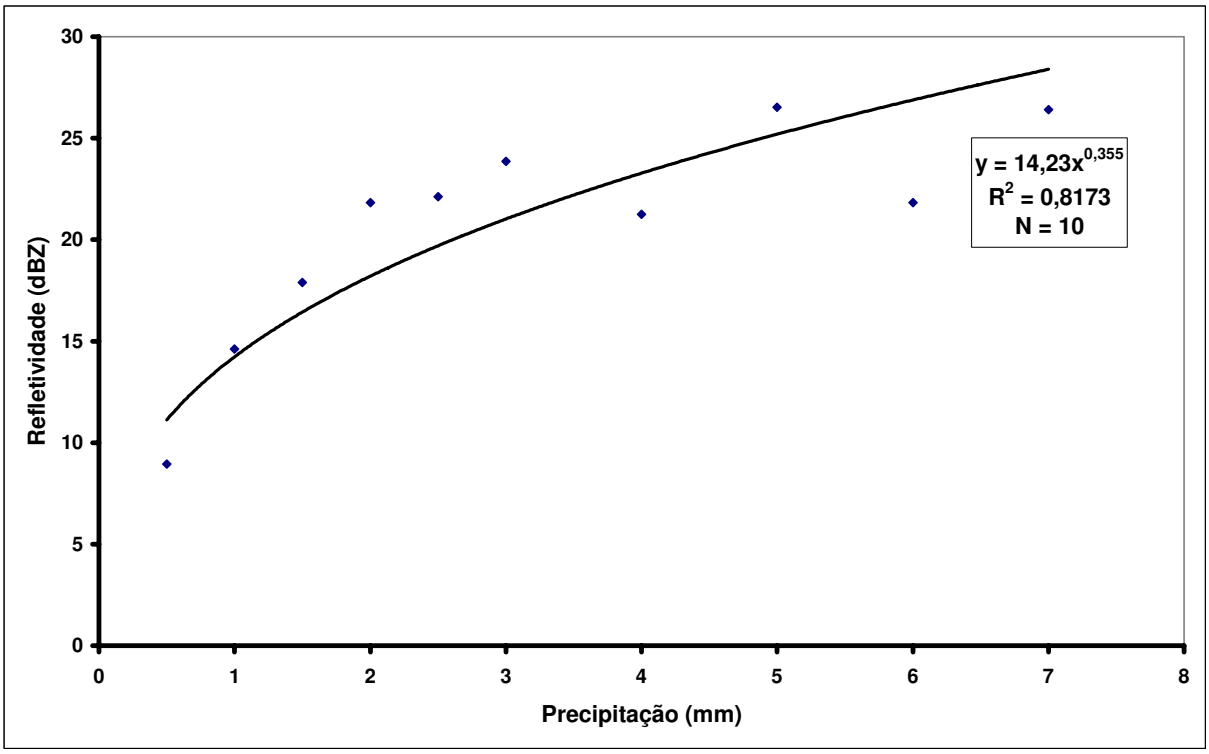

Figura 30. Curva de ajuste entre refletividade e precipitação para períodos horários, estação meteorológica de Piracicaba.

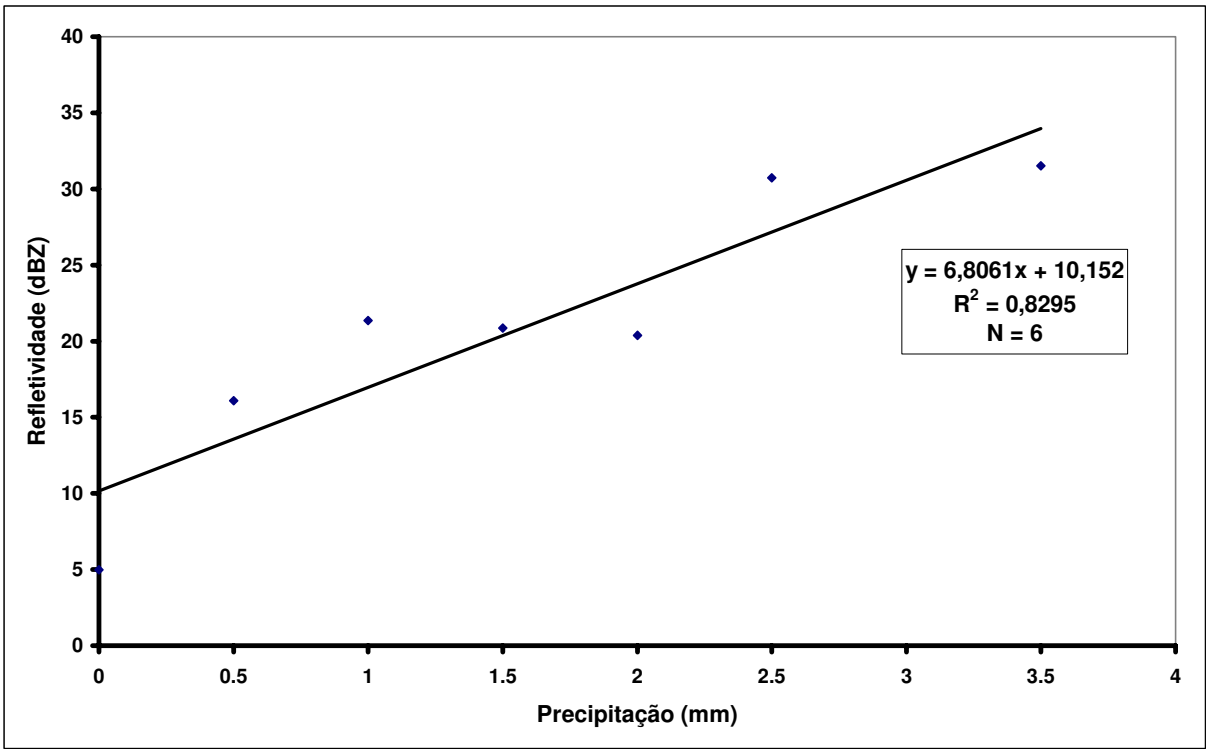

Figura 31. Curva de ajuste entre refletividade e precipitação para períodos horários, estação meteorológica de Jaboticabal.

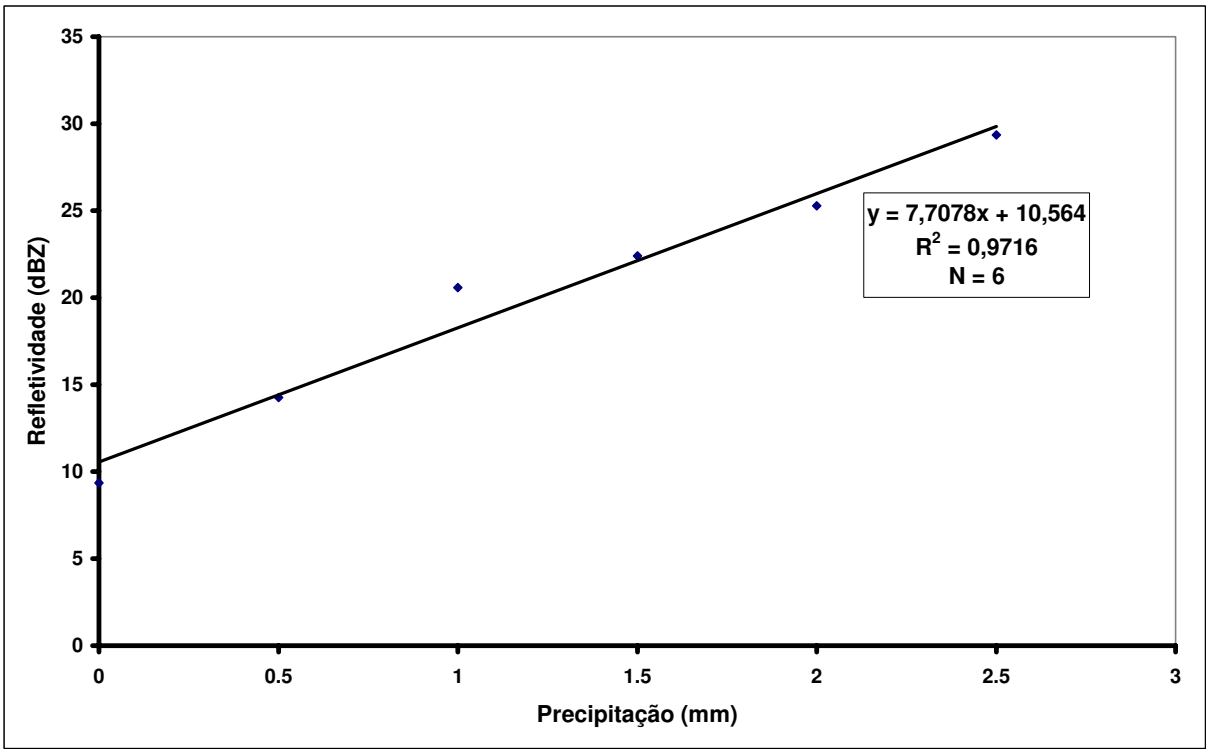

Figura 32. Curva de ajuste entre refletividade e precipitação para períodos horários, estação meteorológica da ESALQ.

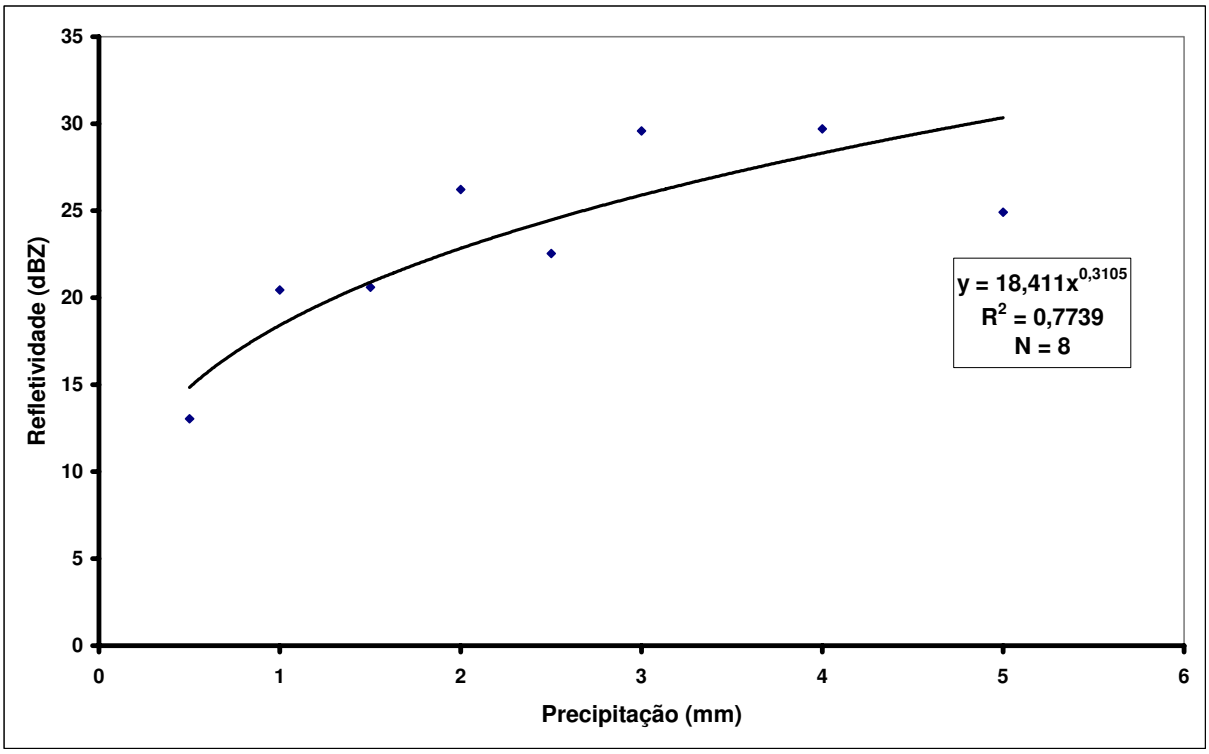

Figura 33. Curva de ajuste entre refletividade e precipitação para períodos horários, estação meteorológica de Pradópolis.

Devido à grande variabilidade na intensidade e distribuição das chuvas, mais comparações entre os dados do radar e de pluviômetros deveriam ser feitas a fim de abranger uma maior quantidade de eventos de chuva. AUSTIN (1986) realizou 374 comparações em 20 eventos de chuva e o autor afirma que seriam necessários mais eventos, dada a complexidade na comparação entre dados de radar e medidas de precipitação por pluviômetros.

4.5.3. TEMPERATURA DE BRILHO E PRECIPITAÇÃO

A Figura 34 ilustra o modelo para o intervalo horário, indicando que para o total de 1mm de precipitação registrado nesse período, espera-se encontrar um valor médio de 243K. Considerando as estações individualmente é possível verificar que o modelo de melhor desempenho foi para a estação da ESALQ, 238K e o pior continuou sendo para a estação de Piracicaba, 247K. Para a estação de Jaboticabal o limite foi de 242K e para Pradópolis, 239K.

Ambos os modelos horários apresentaram limiares para condição de precipitação mais próximos dos encontrados na bibliografia do que os intervalos de 6 horas.

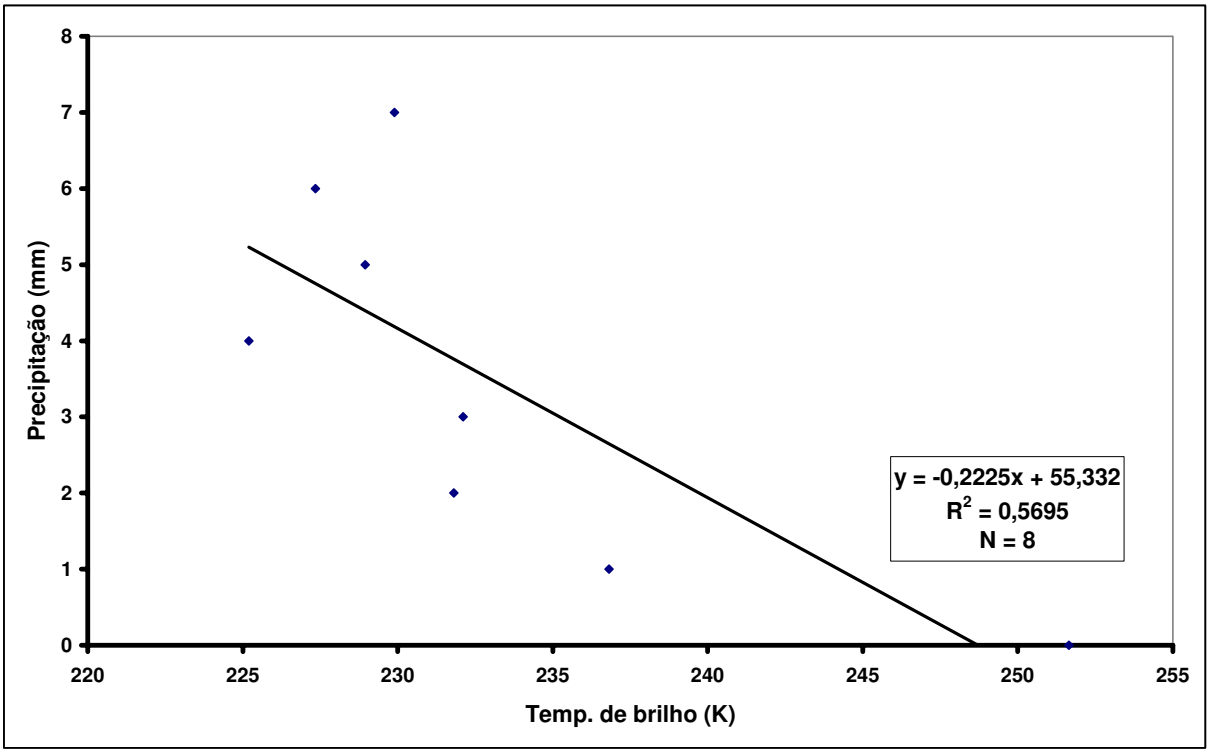

Figura 34. Curva de ajuste entre precipitação e temperatura de brilho do canal 4 para período horário para o conjunto das quatro estações meteorológicas.

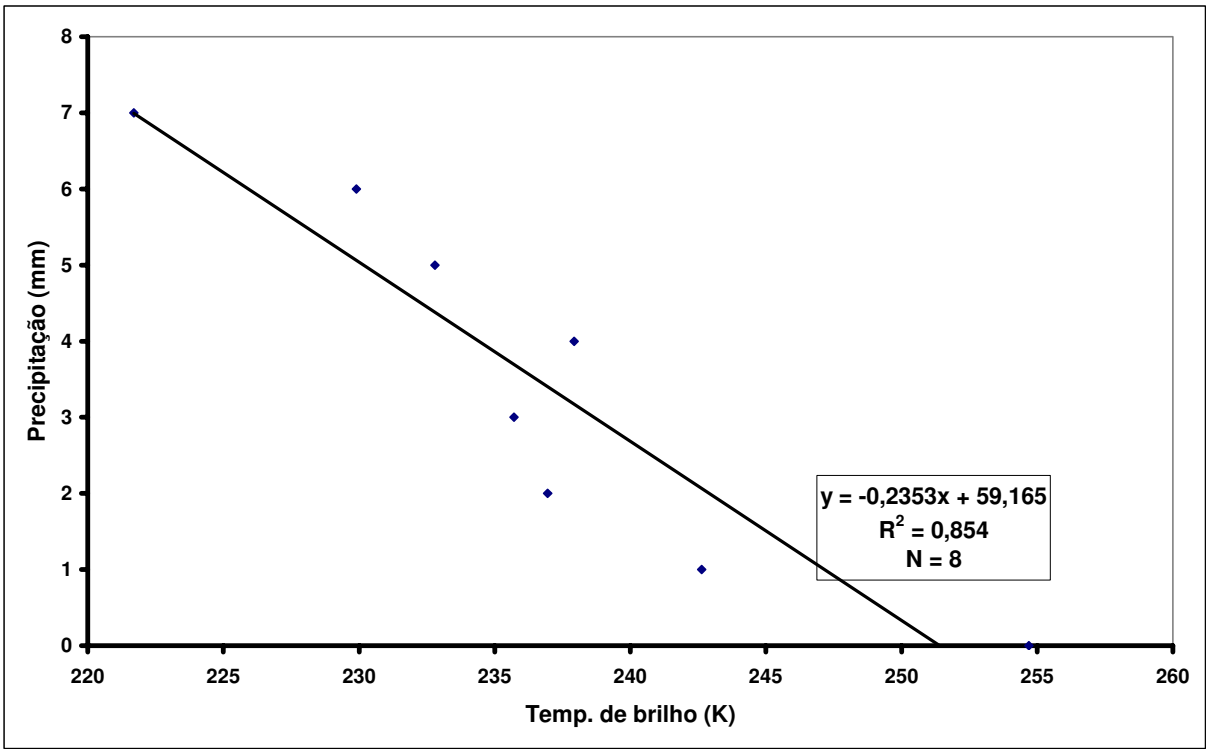

Figura 35. Curva de ajuste entre precipitação e temperatura de brilho do canal 4 para período horário, estação meteorológica de Piracicaba.

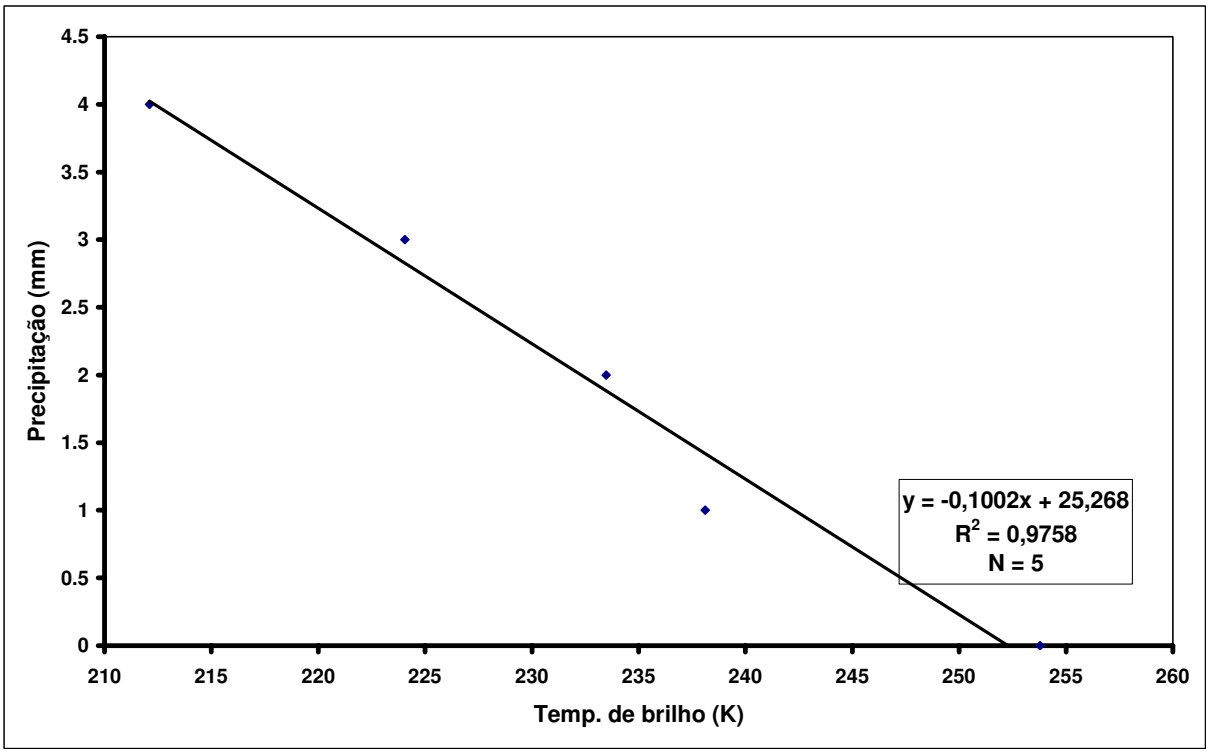

Figura 36. Curva de ajuste entre precipitação e temperatura de brilho do canal 4 para período horário, estação meteorológica de Jaboticabal.

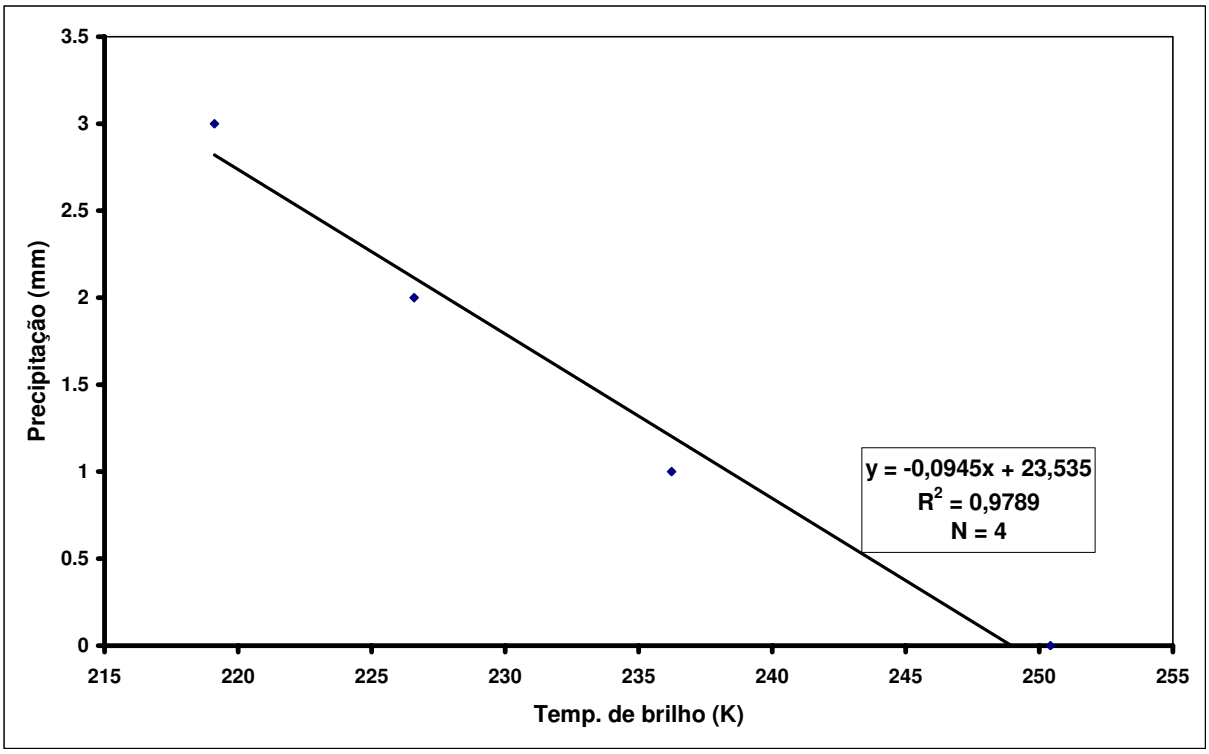

Figura 37. Curva de ajuste entre precipitação e temperatura de brilho do canal 4 para período horário, estação meteorológica da ESALQ.

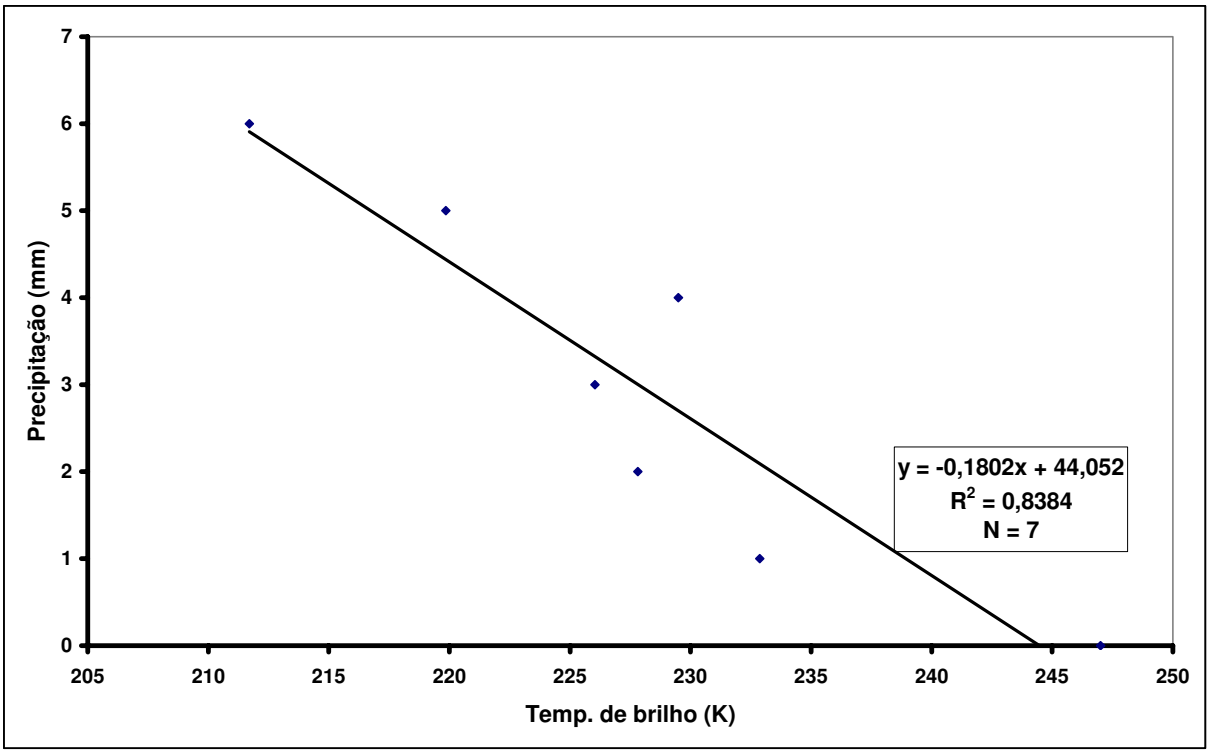

Figura 38. Curva de ajuste entre precipitação e temperatura de brilho do canal 4 para período horário, estação meteorológica de Pradópolis.

4.6. SÍNTESE DOS MÉTODOS

As tabelas a seguir mostram de uma forma sintetizada os modelos encontrados utilizando-se pluviômetros, radar e satélite.

Tabela 5. Síntese dos métodos com dados em 6 horas.

	Equação geral	Piracicaba	Jaboticabal	ESALQ	Pradópolis
canal4/radar x = K; y = dBZ	y = -0,14x + 221,44 20 dBZ = 239K	y = 0,10x + 165,51 20 dBZ = 241K	y = 0,10x + 171,2 20 dBZ = 240K	y = 0,14 x + 221,94 20 dBZ = 239K	y = 0,11x + 186,41 20 dBZ = 246K
r^2	0,88	0,94	0,71	0,95	0,75
canal 4/pluviômetro x = K; y = mm	y = -0,36x + 54,22 1mm = 246K	y = -0,05x + 85,68 1mm = 257K	y = -0,03x + 42,76 1mm = 249K	y = -0,04x + 64,01 1mm = 243K	y = -0,03x + 44,82 1mm = 247K
r^2	0,81	0,58	0,70	0,57	0,71
canal 4/pluviômetro x = K; y = mm	y = -0,06x + 96,46 1mm = 245K	-	-	-	-
r^2	0,51	-	-	-	-
radar/pluviômetro y = dBZ; x = mm	$y = 22,53x^{0,16}$ 1mm = 22dBZ	$y = 17,88x^{0,20}$ 1mm = 18dBZ	$y = 24,79e^{0,03x}$ 1mm = 25dBZ	y = 2,1x + 18,74 1mm = 21dBZ	$y = 20,58x^{0,23}$ 1mm = 20dBZ
r^2	0,95	0,81	0,45	0,89	0,87

Tabela 6. Síntese dos métodos com dados em 1 hora.

	Equação geral	Piracicaba	Jaboticabal	ESALQ	Pradópolis
canal4/radar x = K; y = dBZ	y = -1,21x + 302,06	y = -1,15x + 90,98 20dBZ = 233K	y = -0,81x+211,9 20dBZ = 237K	y = -1,07x + 270,87 20dBZ = 234K	y = -0,87x + 223,66 20dBZ = 234K
r^2	0,95	0,85	0,77	0,82	0,86
canal 4/pluviômetro x = K; y = mm	y = -0,22x + 55,33	y = -0,23x + 59,16 1mm = 247K	y = -0,10x + 25,27 1mm = 242K	y = -0,09x + 23,53 1mm = 238K	y = -0,18x + 44,05 1mm = 239K
r^2	0,57	0,85	0,97	0,98	0,84
radar/pluviômetro x = mm; y = dBZ	$y = 16,06x^{0,29}$ 1mm = 16dBZ	$y = 14,23x^{0,35}$ 1mm = 14dBZ	y = 6,86x + 10,15 1mm = 17dBZ	y = 7,71x + 10,56 1mm = 18dBZ	$y = 18,41x^{0,31}$ 1mm = 18dBZ
r^2	0,90	0,84	0,74	0,97	0,75

4.7. IDENTIFICAÇÃO DE NUVENS CIRRUS

Nesta etapa do trabalho é apresentada uma relação entre a diferença de temperatura de brilho do canal 4 e a temperatura de brilho observada no canal 3 (vapor d'água). Essa análise foi feita objetivando mostrar a distribuição dos dados com relação ao tipo de nuvens e a distribuição das chuvas.

Trabalhos como o de BOTTINO *et al*. (2003) e BA & GRUBER (2001) identificaram os valores de 5K e 1.5K como sendo o resultado obtido pela diferença entre os canais 4 e 3, como indicativos de sistemas convectivos profundos. Neste trabalho os dados não foram selecionados pelo tipo de nuvem e, portanto, chuvas resultantes de nuvens rasas, menos frias, fizeram parte das análises. A partir da ilustração da Figura 39 é possível observar uma tendência de aumento nos valores de refletividade enquanto diminui a diferença observada entre os canais 4 e 3, embora não seja estatisticamente significativo ao nível de 5% .

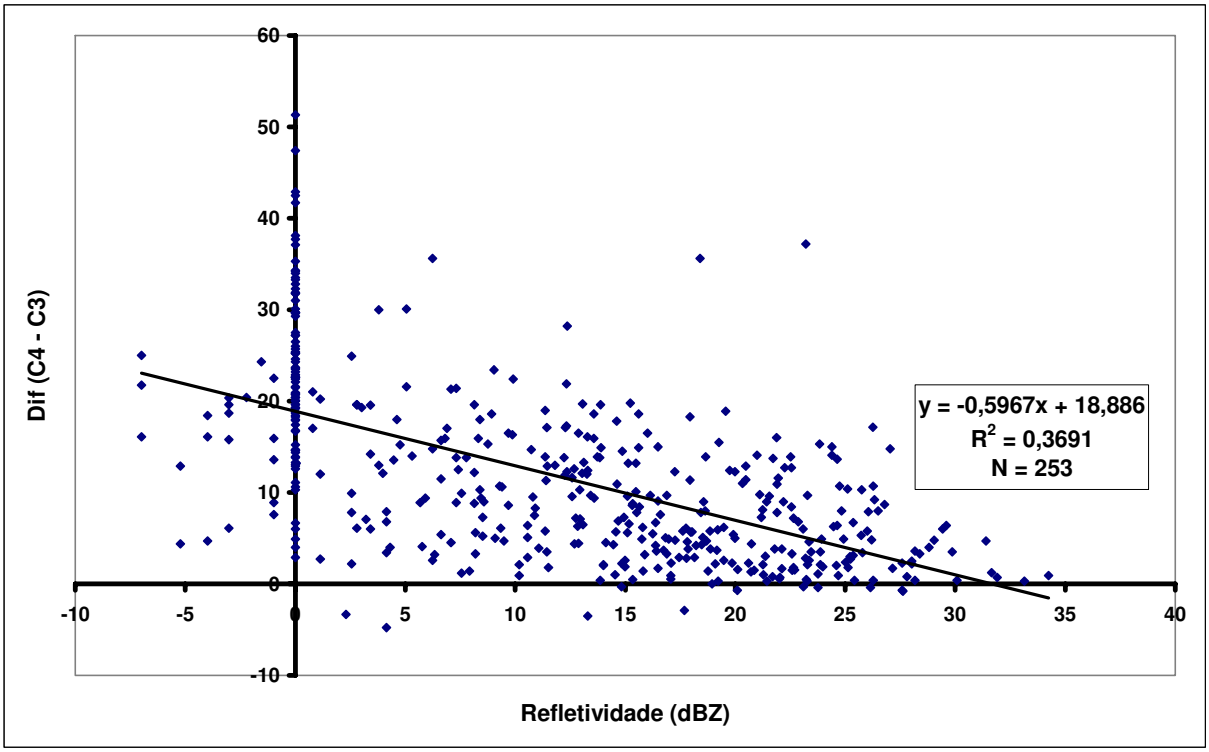

Figura 39. Refletividade observada no radar e a diferença entre os canais 3 e 4 do satélite.

4.8. VERIFICAÇÃO DO MODELO ENTRE REFLETIVIDADE E PRECIPITAÇÃO

Os modelos desenvolvidos neste estudo foram comparados entre si e com o método de MARSHALL & PALMER (1948), bem como seus desempenhos foram testados com os dados obtidos nos pluviômetros. As Figuras 40 a 42 mostram a relação entre os dados medidos nos pluviômetros e a precipitação estimada pelos métodos utilizando a integração em 6 horas, em uma hora e a equação de MARSHALL & PALMER (1948), respectivamente.

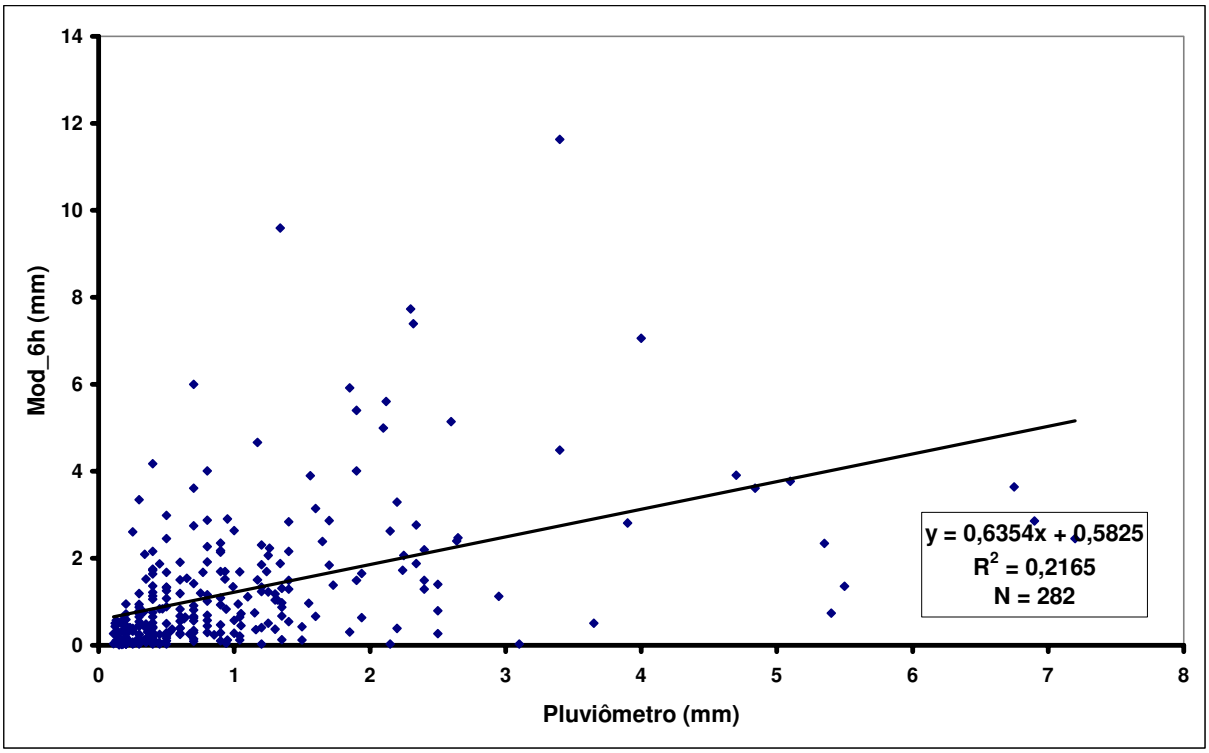

Figura 40. Relação entre a precipitação observada nos pluviômetros e estimada pelo método utilizando a integração em 6 horas.

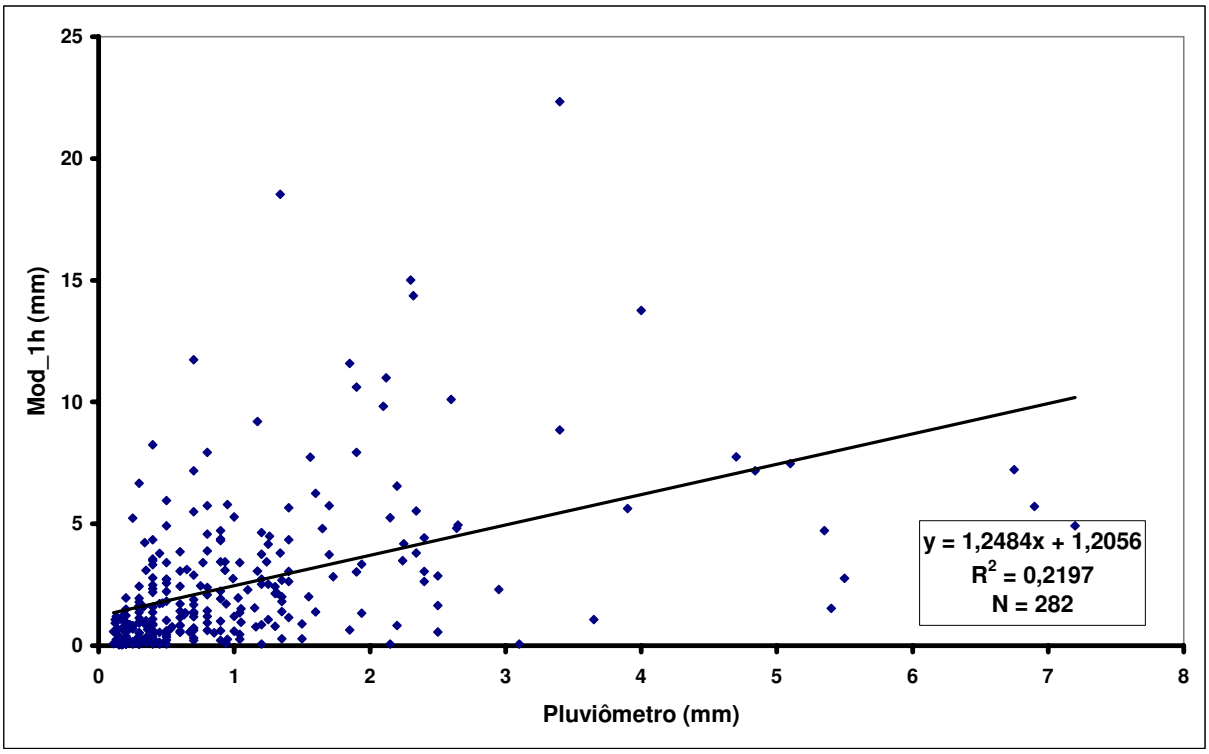

Figura 41. Relação entre a precipitação observada nos pluviômetros e estimada pelo método utilizando a integração em 1 hora.

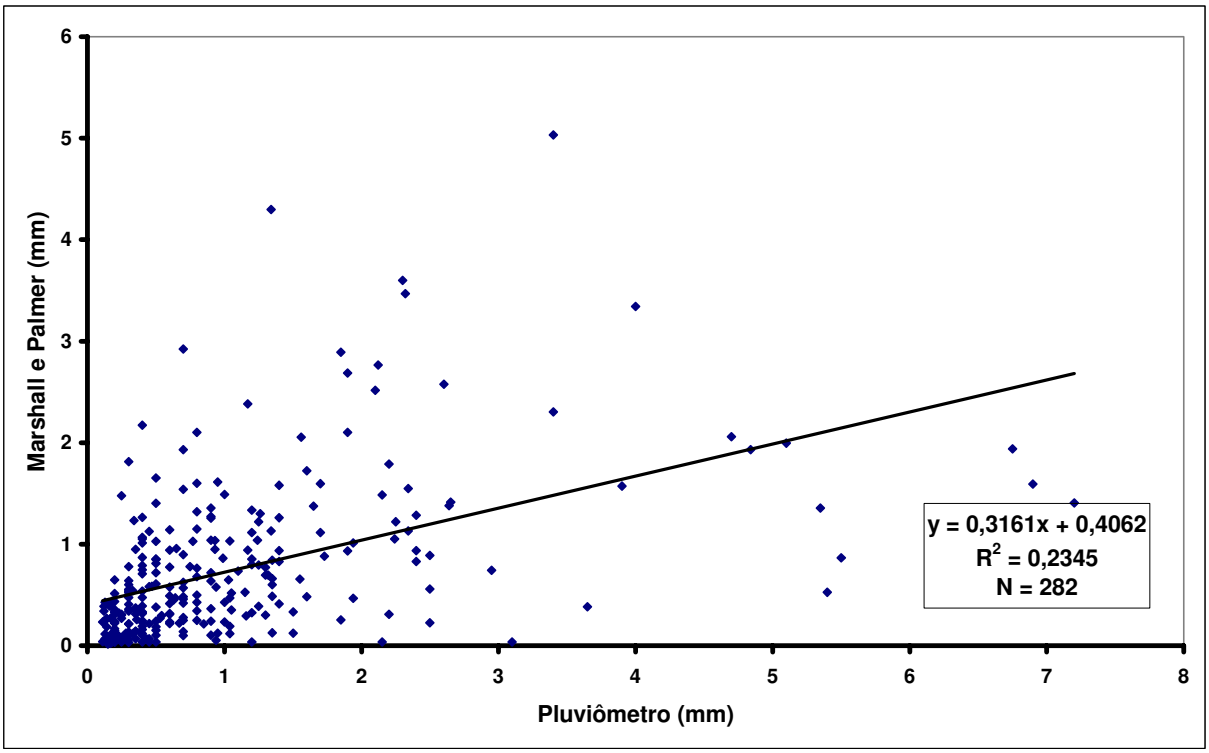

Figura 42. Relação entre a precipitação observada nos pluviômetros e estimada pelo método de MARSHALL & PALMER (1948).

As Figuras 40 a 42 mostram que o r^2 encontrado para os métodos foi baixo, não indicando nenhuma tendência entre os dados observados e os modelos. É possível observar também que os dados concentram-se em torno de 1mm e que para os valores maiores de precipitação há uma grande dispersão entre dados previstos e observados.

Na Figura 43, os itens a, b e c ilustram um episódio de precipitação mostrando os resultados estimados utilizando-se os modelos obtidos com os dados integrados em 6h, em 1h e pelo método de MARSHALL & PALMER (1948), respectivamente.

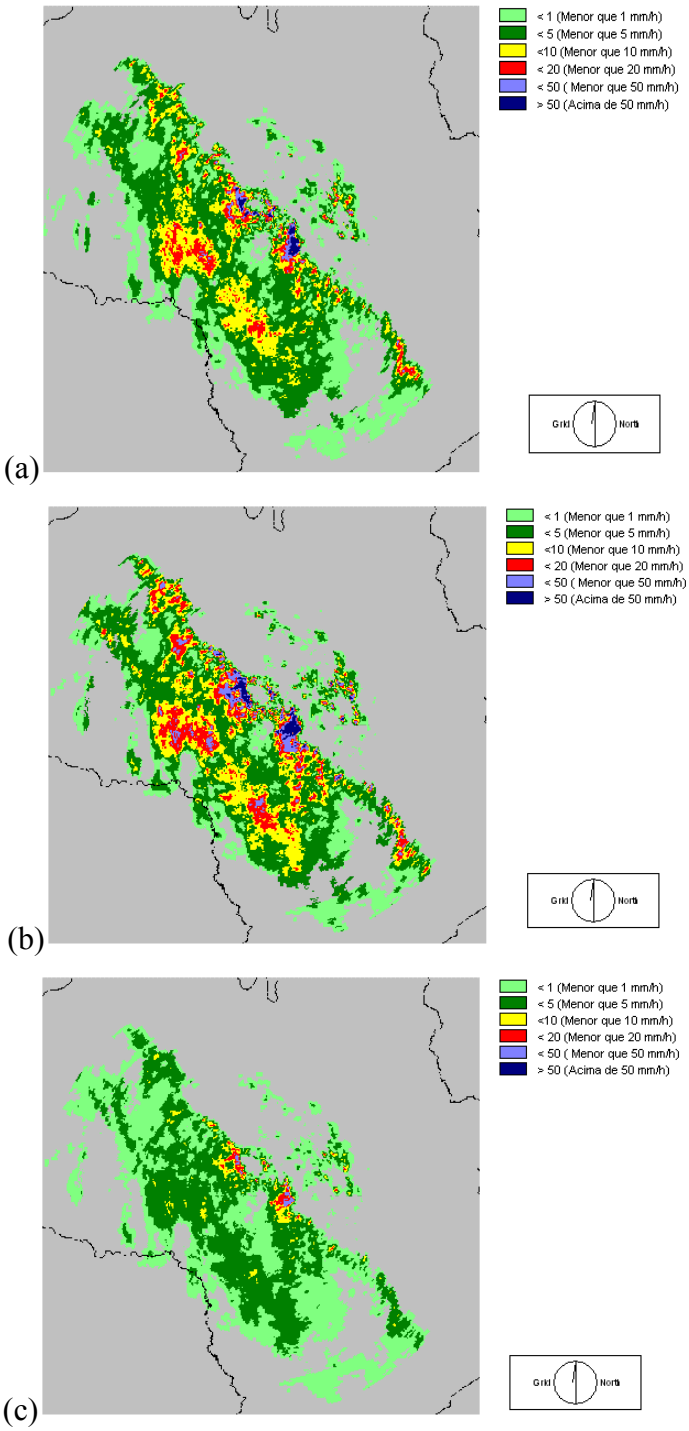

Figura 43. Precipitação estimada para 09/12/2003, às 08h08min (horário local), pelos métodos:(a) utilizando integração em 6h, (b) utilizando integração em 1h e (c) pelo método de MARSHALL & PALMER (1948).

4.9. RELAÇÃO ENTRE A REFLETIVIDADE E A PRECIPITAÇÃO OBTIDAS NOS DIFERENTES HORÁRIOS DO DIA

As Figuras de 44 a 47 ilustram a relação entre a refletividade obtida pelo radar e a precipitação obtida nos pluviômetros ao longo do dia, visando identificar uma maior ou menor relação entre essas variáveis nos diferentes horários.

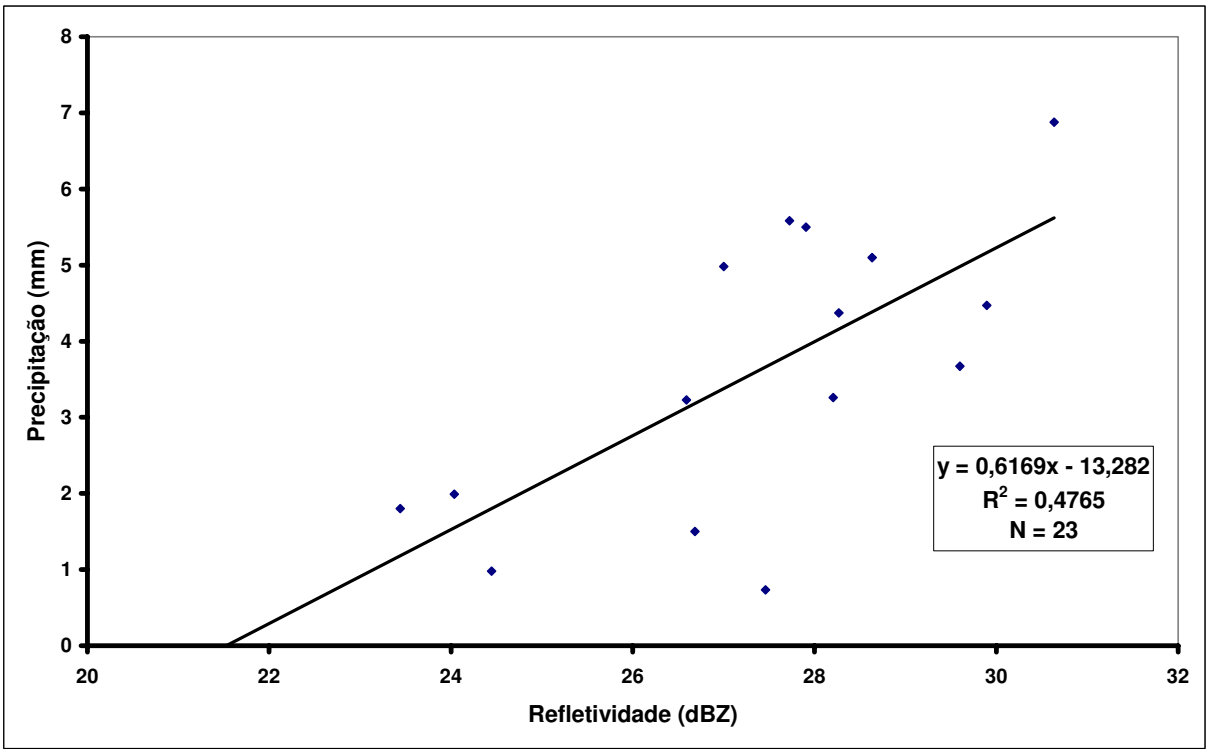

Figura 44. Relação entre refletividade obtida pelo radar e precipitação para o horário entre 0h e 6h.

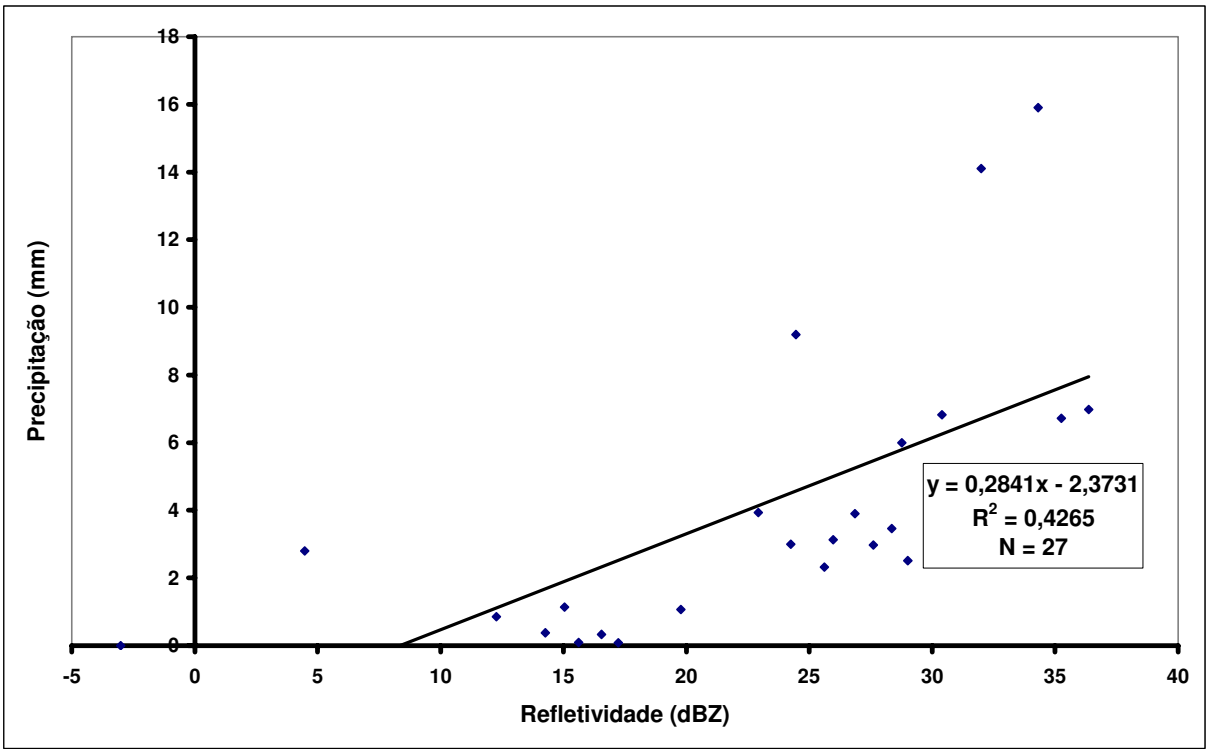

Figura 45. Relação entre refletividade obtida pelo radar e precipitação para o horário entre 6h e 12h.

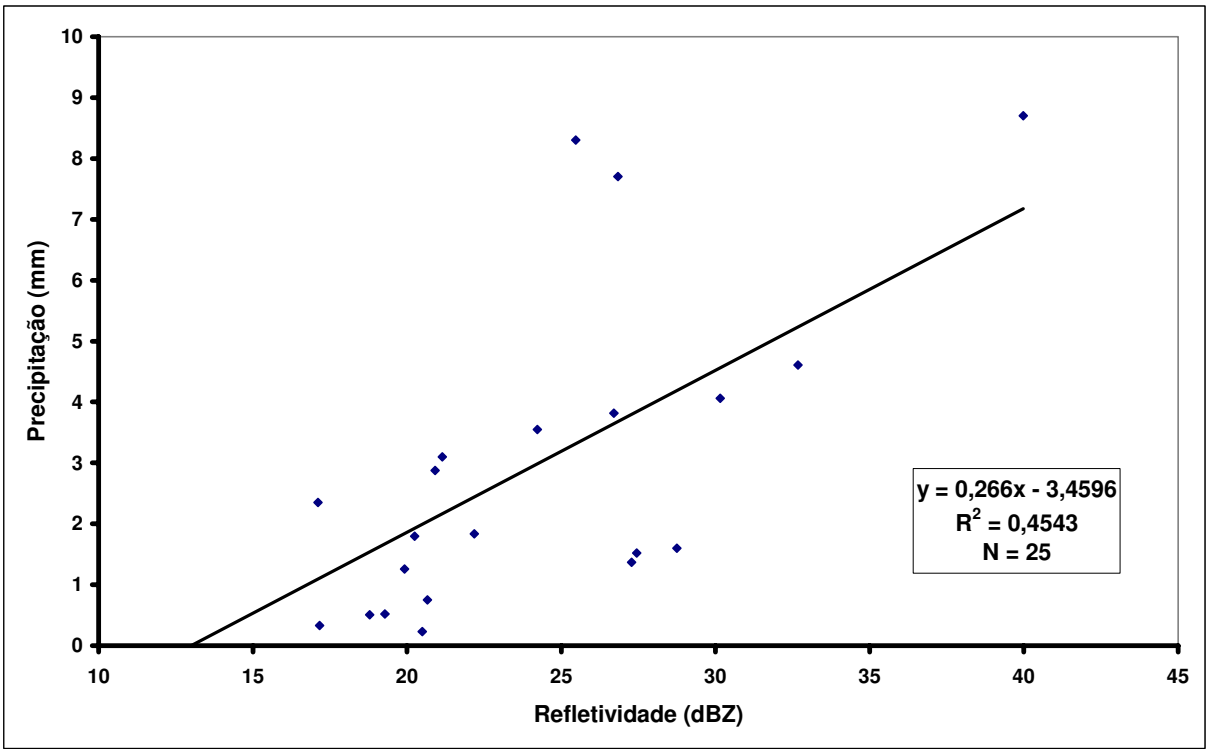

Figura 46. Relação entre refletividade obtida pelo radar e precipitação para o horário entre 12h e 18h.

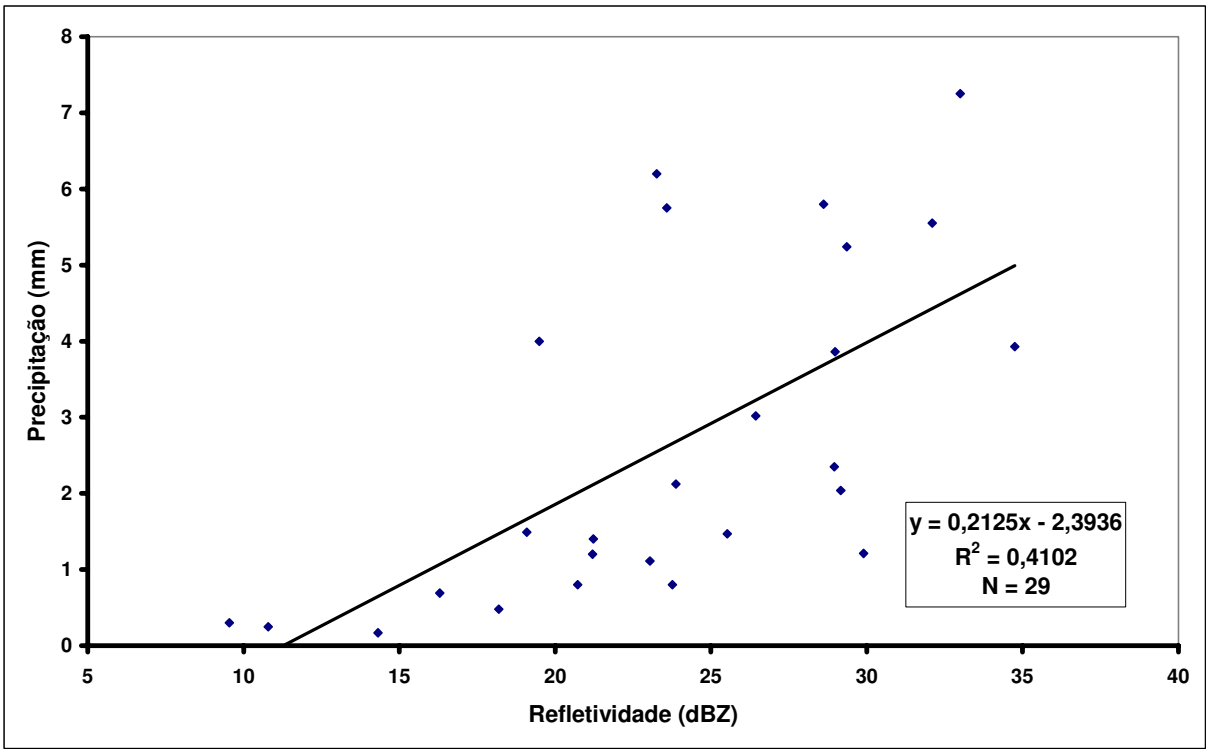

Figura 47. Relação entre refletividade obtida pelo radar e precipitação para o horário entre 18h e 24h.

Pela ilustração das Figuras 44 a 47 é possível observar que os valores de r^2 são relativamente próximos e baixos, não permitindo identificar diferença significativa entre as observações nos diferentes horários do dia ou da noite.

4.10. VERIFICAÇÃO DO MODELO PARA ESTIMATIVA DE PRECIPITAÇÃO A PARTIR DE UMA TEMPERATURA LIMIAR DO SATÉLITE

Para a verificação da temperatura limiar do canal 4 que melhor estimasse as condições favoráveis à ocorrência de precipitação foi utilizado uma tabela de contingência. Essa tabela mostra a freqüência de acertos que uma determinada temperatura de brilho do canal 4 tem em relação à refletividade observada no radar. O valor limite utilizado para considerar precipitação/ não precipitação foi 20 dBZ.

A tabela de contingência é utilizada para verificar que tipos de erros podem ser encontrados na previsão. Uma previsão perfeita consiste em produzir somente acertos e

negativas corretas. A Tabela 6 mostra os números totais de eventos de precipitação observados e previstos bem como os de não precipitação.

A partir da tabela de contingência, vários tipos de análises estatísticas podem ser feitos. Neste estudo, foi adotada como precisão a fração em que a temperatura de brilho do canal 4 indicou corretamente o observado. Esta situação ocorreu em duas condições, tanto para o acerto quanto para a negativa correta.

Segundo WILKS (1995), o "bias" indica a taxa de eventos favoráveis à ocorrência de precipitação que foram previstos com relação aos observados. A partir do "bias" é possível avaliar se o método utilizado para previsão tem a tendência de subestimar a ocorrência de precipitação ("bias" < 1) ou superestimar a ocorrência de precipitação ("bias" > 1).

$$precisão = \frac{acertos + negativascorretas}{total} \quad (4)$$

$$bias = \frac{acertos + alarmesfalsos}{acertos + falhas} \quad (5)$$

A tabela de contingência foi testada para vários valores de temperatura de brilho e refletividade do radar, mas serão apresentadas somente três combinações utilizando 239K, 234K e 225K, respectivamente. O limiar de 239K foi um valor médio encontrado para o modelo que utilizada os dados integrados num período de 6horas. O segundo valor, por ser o encontrado neste estudo utilizando o intervalo de integração de dados em uma hora e ser o mais próximo do indicado na bibliografia, e o terceiro por ter sido encontrado no estudo de SCOFIELD (1994) para o estado de São Paulo. A Tabela 6 ilustra o resultado utilizando-se o limiar de temperatura de brilho de 239K.

Tabela 7. Tabela de contingência utilizando temperatura de brilho do canal 4 igual ou inferior a 239K e refletividade igual ou maior do que 20dBZ.

		Observado Radar		
		Sim	Não	
Previsto Satélite	Sim	83 (18%)	131 (28%)	214
	Não	32 (6%)	223 (48%)	255
		115	354	469

Utilizando-se a temperatura limiar de 239K, a precisão encontrada foi de 306 eventos estimados corretamente representando uma precisão de 65%, entretanto o "bias" foi de 1,8 indicando uma superestimativa dos dados.

A Tabela 7 ilustra o resultado encontrado utilizando a temperatura limiar de 233K para a refletividade de 20dBZ.

Tabela 8. Tabela de contingência utilizando temperatura de brilho do canal 4 igual ou inferior a 233K e refletividade igual ou maior do que 20dBZ

		Observado Radar		
		Sim	Não	
Previsto Satélite	Sim	77 (17%)	98 (21%)	175
	Não	39 (8%)	255 (54%)	294
		116	353	469

O resultado encontrado mostra que em 71% dos casos o limiar de temperatura de brilho de 233K estimou corretamente a condição observada. O "bias" foi de 1,5 indicando que

este limiar de temperatura de brilho do canal 4 tende a superestimar os valores de refletividade iguais ou acima de 20dBZ.

Na Tabela 8 é apresentada a tabela de contingência utilizando-se o limiar de temperatura de brilho de 225K do canal 4 com relação ao limiar de 20dBZ.

Tabela 9. Tabela de contingência utilizando temperatura de brilho do canal 4 igual ou inferior a 225K e refletividade igual ou maior do que 20dBZ.

		Observado Radar		
		Sim	Não	
Previsto Satélite	Sim	52 (11%)	39 (8%)	91
	Não	63 (13%)	315 (67%)	378
		115	354	469

Neste caso o resultado encontrado mostra que em 79% dos casos o limiar de temperatura de brilho de 225K estimou corretamente a condição observada. O “bias” foi de 0,8, indicando que para este limiar há uma leve tendência de subestimativa do método.

5. DISCUSSÃO E CONCLUSÕES:

Neste trabalho foram feitas análises de precipitação em superfície medida com pluviômetros e monitoradas por radar, visando verificar a possibilidade de utilização de imagens do satélite GOES 12 como indicadores de precipitação para fins de monitoramento agrícola.

Os resultados evidenciaram que as características espectrais obtidas a partir de imagens de satélite mostraram-se adequadas para indicar a ocorrência ou não de precipitação em superfície e possibilitaram as seguintes conclusões:

1. As tabelas de contingência, elaboradas com base nos limiares de temperatura de brilho do canal 4 do satélite com relação ao limiar de 20 dBZ do radar meteorológico, indicaram que o limiar de 225K foi o mais adequado para inferir ocorrência de precipitação em superfície. A utilização de limiares mais elevados de temperatura de brilho induziu superestimativa da precipitação.

2. Com base nos modelos de integração de dados de precipitação e de refletividade de 1h e de 6h e da relação entre a temperatura de brilho do canal 4 e a refletividade obtidas pelas tabelas de contingência, pode-se considerar que o valor de 20dBZ corresponde a uma precipitação de 1mm/h em superfície. Entretanto, quando se analisam os dados de estações individuais, 1mm corresponde a diferentes valores de refletividade.

3. Pode-se afirmar ainda sobre a relação entre os dados dos pluviômetros e do satélite, que o limite mínimo de 1mm de precipitação corresponde a elevados valores de temperatura de brilho do canal 4. Em ambos os modelos, tanto utilizando-se o conjunto de dados integrados em 6horas quanto em uma hora, 1mm corresponde a 245K de temperatura de brilho do canal 4. Esses resultados podem levar a superestimativa da condição de precipitação em superfície, uma vez que nuvens com temperaturas mais elevadas nem sempre estão associadas a precipitação.

4. O intervalo ótimo de tempo de integração dos dados varia conforme o sensor analisado. Os resultados obtidos utilizando-se os dados de satélite, integrados em uma hora,

mostraram-se mais eficientes quando comparados com os obtidos em períodos de 6 horas. O modelo que utiliza um período menor de integração de dados pode acompanhar mais detalhadamente os processos de formação, amadurecimento e dissipação do sistema de nuvens. No caso de uma nuvem de chuva, esse ciclo pode ocorrer em curto espaço de tempo e um modelo que utilize um período de integração de dados maior, pode-se mostrar menos sensível a essas variações. Por outro lado, os modelos encontrados para a relação entre a precipitação obtida pelos pluviômetros locais (R) e o radar meteorológico (Z) apresentaram melhores resultados quando foi utilizado o período de integração de 6 horas, em que os valores estimados se aproximaram mais dos valores medidos. A comparação entre refletividade e precipitação utilizando-se dados integrados em 6 horas mostrou desempenho semelhante em qualquer horário do dia.

5. Os modelos obtidos entre os dados de refletividade e de temperatura de brilho do canal 4 apresentaram os melhores resultados quando comparados com os modelos obtidos entre os dados de precipitação e de temperatura de brilho. O pluviômetro realiza a medida da precipitação em um ponto enquanto as informações do radar e do satélite são representativas da medida de uma área a uma determinada altura da superfície.

6. A relação entre a precipitação medida nos pluviômetros e a temperatura de brilho do canal 4 mostrou resultados pouco satisfatórios, tanto para os modelos obtidos por dados integrados em 6 horas quanto para os dados integrados em 1 hora. Esse último apresentou os maiores ajustes em praticamente todas as estações, embora quando foi utilizado o conjunto de dados, o modelo de integração em 6horas teve o maior r^2 para praticamente o mesmo limiar de temperatura de brilho.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADLER, R. F.; MACK, R. A. *Thunderstorm cloud height-rainfall rate relations for use with satellite rainfall estimation techniques*. J. Clim. Appl. Meteor.,v. 23, p. 280-296, 1984.

ADLER, R. F.; NEGRI, A. J. *A Satellite Infrared Tchnique to estimate tropical convective and stratiform rainfall*. J. of App. Met., v. 27, p.30-51, 1988.

ANTONIO, M. A. *Técnica de ajuste em tempo real de medidas de chuva com radar. 156p. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agronômicas* – UNESP, Botucatu, SP, 1998.

ANTONIO, M. DE A. *Considerações sobre integração de medidas de chuva por radar. São Carlos, 111p. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento*) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1984b.

ANTONIO, M. DE A.; CALHEIROS, R. V. *Método estatístico para obtenção de relações Z-R. hidrológicas: uma verificação.* In: Rev. Bras. Eng.: Cad. Rec. Hidr., v. 3, p. 17-28, 1985.

ARKIN, P. A. *The Relationship between fractional coverage of high cloud and rainfall accumulations during GATE over the B-Scale array*. Mon.Wea. Review., v. 107, p.1382-1387, 1979.

ARKIN, P. M.; MEISNER, B. N. *The relationship between large-scale convective rainfall and cold cloud over the western Hemisphere during 1982-84***.** Mon. Wea. Rev., v. 115, p. 51-74, 1987.

BA, M. B. E GRUBER, A. *GOES multispectral rainfall algorithm (GMSRA*). J. Appl. Meteorol., v. 40, n. 8, p. 1500-1514, 2001.

BARRET, E. C. *The estimation of monthly rainfall from satellite data*. Mon. Wea. Rev. v. 98, n.10, p. 322-327, 1970.

BARRET, E. C.; MARTIN, D.W. *The use of satellite data in rainfall monitoring*. London and New York: Academic Press, 1981.

BATTAN, L. J. *Radar observations of the atmosphere*. Chicago e Londres: The Univ. of Chicago Press. 324p, 1973.

BOTTINO, M. J.; NOBRE, P.; CARNEIRO, G. M. *Detecção de sistemas convectivos nos trópicos utilizando imagens multiespectrais do satélite geoestacionário GOES 8*. Climanálise Especial. http://www.cptec.inpe.br, 22/01/2006.

BOTTINO, M. J. *Um modelo de estimativa de radiação solar por satélite: Análise e aprimoramentos. 85p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto*) – INPE, São José dos Campos, SP, 2000.

CARVALHO, L. M. V. *Análise da natureza da textura de nuvens no infravermelho via satélite: Um Estudo de Caso para São Paulo*. 228p. Dissertação (Mestrado em Ciências Atmosféricas) – Instituto de Astronomia e Geofísica – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1992.

CONFORTE, J. C.; ARAI N.; ALMEIDA, F. C. *Navegação das imagens dos satélites Meteorológicos Geoestacionários*. INPE – 2772 – RPE/435, 1983.

CONFORTE, J. C.; ALVES, M. A. S.; ALMEIDA, F. C. DE; MASSAMBANI, O., *Processamento digital de imagens infravermelho e visível do satélite GOES e sua integração com dados de radar meteorológico.* Anais IV SBSR e IV Reunion plenária selper. Gramado, INPE, p. 485-493, 1986.

DUVEL, J. P. *Convection over tropical África and Atlantic Ocean during northern summer. Part I: Interannual and diurnal variations.* Mon. Wea. Rev., v. 117, p. 2782-2799, 1989.

GUILLOT, B. *Satellite Precipitations Contraintes Techniques et Physiques, Analyse de Quelques Methodes, Problemes de Recherche et de Validation*. Veil. Clim. Satel., n.55, p. 27-38, 1995.

HARROLD, T. W.; ENGLISH, E. J.;NICHOLASS, C. A."*The Accuracy of Radar-derived Rainfall Measurements in Hilly Terrain",* Quart. J. of the Royal Met**.** Soc., Vol. 100, pp 331-350, 1974.

HEYMSFIELD, G. M.; GHOSH, K. K.; CHEN L. C. *An interactive system for compositing digital radar and satellite Data*. J. of Appl. Meteor. V. 5, n. 22, 1983.

HENDERSON-SELLERS, A. *Satellite sensing of a cloud atmosphere: Observing the third planet*, Taylor & Francis Ltda., USA, 1984.

KIDDER, S. Q.; HAAR T. H. V. *Satellite Meteorology : an Introduction. Academic Press, Inc*. San Diego-California, 1995.

LAVEJOY, S.; AUSTIN, G.L. *The delineation of rain areas from visible and infrared satellite data for GATE and Mid-Latitudes.* Atmos. Ocean, v. 17, p. 77-92, 1979.

LEITHOLD, L. O cálculo com geometria analítica. *Harper & Row do Brasil*. São Paulo, 1977.

LIOU, K.N. *An Introduction to Atmospheric Radiation*, Academic Press, New York, 1980.

MACHADO, L. A.; DEBOIS, T.; DUVEL, J-P. *Structural characteristics of deep convective systems over tropical África and Atlantic Ocean.* Mon. Wea. Rev**.** n. 120, p. 392-406, 1992.

MACHADO, L. A. T.; ROSSOW, W. B. *Structural characteristics and radiative properties of tropical cloud clusters*. Mon. Wea. Rev., v. 121, p. 3234-3260, 1993.

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

NEGRI, A. J.; ADLER, R. F. *Relation of satellite-based thunderstorm intensity to radar-estimated rainfall*. J. of Appl. Meteor., v. 20, p. 288-300, 1980.

NEGRI, A. J.; ADLER, R. F. *Relation of satellite-based thunderstorm intensity to radar-estimated raifall.* J. Appl. Meteorology. v.20, p. 288-300, 1981.

NEGRI, A. J.; ADLER, R. F.; WETZEL, P. J. *Rain estimation from satellites: an examination of the Griffith-Woodley technique*. J. Clim. Appl. Meteor., v. 23, p. 102-116, 1984.

NEGRI, A. J., ADLER, R. F. *An intercomparison of three satellite infrared rainfall techniques over Japan and surroundings waters.* J. Appl. Meteor., v. 32, n.2, pp. 357-373, 1993.

RAO, P. K.; HOLMES S. J.; ANDERSON R. K.; WINSTON J. S.; LEHR P. E. *Weather Satellites: Systems, data, and environmental applications.* Am. Meteor. Soc. Boston, 1990.

RINEHART, R.E**.,** RADAR for Meteorologists. Ronald E. Rinehart, Grand Forks, North Dakota, 334 p.1991.

SEED, A. W.; NICOL, J.; AUSTIN, G. L.; STOW, C. D.; BRADLEY, S. G. *The impact of radar and raingage sampling errors when calibration a weather radar*. Meteorol. Appl., v. 3, p. 43-52, 1996.

SCOFIELD, R. A. ; OLIVER V. J., *A Scheme for estimating convective rainfall from satellite imagery.* NOAA Tech. Memo. NESS, v. 86, 47 pp. 1977.

SCOFIELD, R.A.*The NESDIS operational convective precipitation technique.* Mon. Wea. Review, v. 115, p. 1773-1792, 1987.

SCOFIELD, G. B. *Estimativa de precipitação sobre a região de São Paulo utilizando a técnica convectiva estratiforme*. 94p. Dissertação de Mestrado. INPE, São José dos Campos, SP. 1994.

SCOFIELD, G. B.; VENDRAME, I.; *Adaptação da técnica de estimativa de precipitação NAW para a área de abrangência do radar de Bauru, SP*. Anais XI SBSR, Belo Horizonte, INPE, p. 1203-1210, 2003.

SCOFIELD, R. A., Comments on "*A quantitative assessment of the NESDIS Auto-Estimador."* Wea. Forecasting., 16, 277-278, 2001.

TOKUNO M. E TSUCHIYA, K. *Classification of cloud types based on data of multiple satellite sensors.* Adv. Space Research, v. 14, n. 3, p.199-206, 1993.

TSONIS, A. A. *On the separability of various classes from the GOES visible and infrared data.* J. Clim. Appl. Meteor., v.23, p. 1393-1410, 1984.

THOMAS, I. L.; BENING, V. M.; CHING, N. P. *Classifications of Remotely Sensed Images* (Bristol: Adam Hilger), 1987.

TSONIS, A. A; ISAAC, G. A. *On a new approach for instantaneous rain area delineation in the midlatitudes using GOES data.* J. of Clim. and Appl. Meteorology. v. 24. 1208-1218, 1985.

VIANELLO, R. L.; ALVES, R. R**.** *Meteorologia Básica e Aplicações*. Viçosa, UFV, 1991.

VICENTE, G. A.; SCOFIELD, R. A.; MENZEL W. P. *The Operational GOES Infrared Rainfall Estimation Technique.* Bull**.** Amer. Meteor. Soc. v. 79, n.9, p.1883-1898, 1998.

VICENTE, G. A., J. C; DAVENPORT; R. A. SCOFIELD. *The role of orographic and parallax corrections on real time high resolution satellite estimation.* Int. J. Remote Sens.,n. 23, p. 221-230, 2002.

VILA, D. A.; SCOFIELD, R. A.; KULIGOWSKI, R. J.; DAVENPORT, J. C.; *Satellite rainfall estimation over South America: Evaluation of two major events.* NOAA Technical Reports n. 114, US Department of Commerce, Washington, D.C, June 2003.

WEINREB, M. M.; JAMIESON, N.; FULTON, N.; CHEN, Y.; JOHNSON, J. X.; BREMES, J.; SMITH, C.; BAUCON, J. *Operational calibration of Geoestationary Operacional Enviroument Satellite-8 and 9.* Applied Optics, 36, 6895-6904, 1997.

WILKS, D. S.; *Statistical methods in the atmospheric sciences : an introduction. Academic Press.* London, 1995.

WILSON, J. W., AND E. A. BRANDES, *Radar measurement of rainfall—A summary*. Bull. Amer. Meteor. Soc., n. 60, 1048–1058, 1979.

WOODLEY, W. L., SANCHO, B.; MILLER, A. H., *Rainfall estimation from satellite cloud photographs*. NOAA Tech. Memorandum ERL OD-11, 1972.

ZAWADSKI, I. I. *On radar-raingage comparison*. J. Appl. Meteor.., v. 14, p. 1430-1436, 1975.

7. APÊNDICES

APÊNDICE 1 – Código fonte do programa de integração dos dados dos pluviômetros, do radar e do satélite

```
//---------------------------------------------------------------------------
#include <vcl.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <string.h>
#pragma hdrstop

#include "Unit1.h"
#include "Unit2.h"
#include "Unit3.h"
#include "Unit4.h"
//---------------------------------------------------------------------------
#pragma package(smart_init)
#pragma resource "*.dfm"
TForm1 *Form1;
char  arquivo[100];
//---------------------------------------------------------------------------
__fastcall TForm1::TForm1(TComponent* Owner)
    : TForm(Owner)
{
     Edit1->Text = "
c:\\tese_final\\prog_marcelo\\area\\prado_pluvio2701.txt";
}
//---------------------------------------------------------------------------

void __fastcall TForm1::Button2Click(TObject *Sender)
{
  exit(1);
}
//---------------------------------------------------------------------------

void __fastcall TForm1::Button1Click(TObject *Sender)
{

    FILE *fp, *gp;
    int i, j, k;

    // Obter o arquivo digitado pelo usuário
    strcpy(arquivo,"");
    strcat(arquivo, Edit1->Text.c_str());

    //Retirar os espaçoes em branco do início do arquivo
    // Comando Trim não está funcionando
    i = strlen(arquivo);
    k = 0;
    for(j=0; j < i; j++)
```

```
     {

       if(arquivo[j] == ' ')
         k = k + 1;
       else
        j = i + 4;

     }
    j = k ;
    for(k=0; k<= (i - j); k++)
      arquivo[k] = arquivo[k+j];

    // Abrir o arquivo digitado pelo usuario
    fp = fopen(arquivo, "r");
    if( fp == NULL )
      {

       ShowMessage("Arquivo não encontrado");
       exit(1);

      }

    gp = fopen("temp.txt", "w");
    if (gp == NULL)
     {

      ShowMessage("Nao consigo passar o nome do arquivo para o formulario
2");
      exit(1);

     }
    else
      {

         fprintf(gp, "%s", arquivo);
      }
    fclose(gp);
    if (!RadioButton1->Checked   && !RadioButton2->Checked  &&
!RadioButton3->Checked  )
       {

           ShowMessage("Escolha Pluviômetro ou Radar ou Satélite");

       }


    if (RadioButton1->Checked)    //Os dados sao do pluviometro
      {
          Form2->ShowModal();


      }
    else
      if (RadioButton2->Checked)       // Os dados sao do radar
        {

          Form3->ShowModal();
```

```
        }
      else
        if (RadioButton3->Checked)    // Os dados sao do satélite
          {

             Form4->ShowModal();
          }

    // Calcular a Integral conforme intervalo definido pelo usuario


}
//---------------------------------------------------------------------------
```

Unit 2

```
//---------------------------------------------------------------------------
#include <vcl.h>
#pragma hdrstop
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

#include "Unit2.h"
//#include "unit1.cpp"

//Definir o numero maximo de linhas do arquivo a ser lido
#define limite 500
//---------------------------------------------------------------------------
--
#pragma package(smart_init)
#pragma resource "*.dfm"

TForm2 *Form2;
//extern char arquivo[100];
float tempo(long hora, int tipo)
  {
    long j;
    int comprimento,  min1, min2, h1, h2;
    char h[30], num[3];
    float result;

    itoa((int)hora, h, 10);
    comprimento = strlen(h);

     result = 1;
    if(comprimento <= 2 && tipo == 6)
      result = -1.0;

    if(comprimento == 6 && tipo == 6 && (hora > 240000))
      result = -1.0;

    if(comprimento > 4  && tipo == 4)
      result = -1.0;

    if(comprimento == 4  && tipo == 4 && hora > 2400)
      result = -1.0;
```

```
if(hora < 0)
  result = -1.0;

if(tipo == 4 && result > 0)
  {

    if(comprimento == 4 )
     {
        num[0] = h[0];
        num[1] = '\0';
        h2 = atoi(num);
        num[0] = h[1];
        num[1] = '\0';
        h1 = atoi(num);
        num[0] = h[2];
        num[1] = '\0';
        min2 = atoi(num);
        num[0] = h[3];
        num[1] = '\0';
        min1 = atoi(num);

     }
    else
     if( comprimento == 3)
       {
         h2 = 0;
         num[0] = h[0];
         num[1] = '\0';
         h1 = atoi(num);
         num[0] = h[1];
         num[1] = '\0';
         min2 = atoi(num);
         num[0] = h[2];
         num[1] = '\0';
         min1 = atoi(num);

       }
      else
        if( comprimento == 2)
         {

            h2 = 0;
            h1 = 0;
            num[0] = h[0];
            num[1] = '\0';
            min2 = atoi(num);
            num[0] = h[1];
            num[1] = '\0';
            min1 = atoi(num);

         }
        else
          if( comprimento == 1)
            {

              h2 = 0;
              h1 = 0;
```

```
                  min2 = 0;
                  num[0] = h[0];
                  num[1] = '\0';
                  min1 = atoi(num);

                }


           result = (float)h2*10 + (float)h1 + (float)(min2*10 +
min1)/60.0;

       }
     else
      if(tipo == 6  && result > 0)
        {

         if(comprimento == 6)
          {

            num[0] = h[0];
            num[1] = '\0';
            h2 = atoi(num);
            num[0] = h[1];
            num[1] = '\0';
            h1 = atoi(num);
            num[0] = h[2];
            num[1] = '\0';
            min2 = atoi(num);
            num[0] = h[3];
            num[1] = '\0';
            min1 = atoi(num);

          }
         else
           if(comprimento == 5)
             {
               h2 = 0;
               num[0] = h[0];
               num[1] = '\0';
               h1 = atoi(num);
               num[0] = h[1];
               num[1] = '\0';
               min2 = atoi(num);
               num[0] = h[2];
               num[1] = '\0';
               min1 = atoi(num);


             }
            else
              if(comprimento == 4)
               {
                  h2 = 0;
                  h1 = 0;
                  num[0] = h[0];
                  num[1] = '\0';
                  min2 = atoi(num);
```

```
                num[0] = h[1];
                num[1] = '\0';
                min1 = atoi(num);

             }
            else
              if(comprimento == 3)
               {

                  h2 = 0;
                  h1 = 0;
                  min2 = 0;
                  num[0] = h[0];
                  num[1] = '\0';
                  min1 = atoi(num);

               }
          if (comprimento == 6 || comprimento == 5 || comprimento == 4 ||
comprimento == 3)
            result = (float)h2*10 + (float)h1 + (float)(min2*10 +
min1)/60.0;

       }


    return(result);
  }
void calcula(int opcao, long inf1, long sup1)
  {
   char   msg[100], str[200], str2[20], arquivo[100];
   char  *ptr, c = ',';
   long  hora1;
   int dia1, mes1, ano1, min, max;
   float valor[limite], hora[limite],  area;
   float inf, sup, y, y1;
   int i, j, saida;
   int indiceInicial, indiceFinal, fim=0;

   FILE *fp2, *gp2;

   saida = 0;
   sup = tempo(sup1,4);
   inf = tempo(inf1, 4);
   //Ler arquivo para verificar limites de integracao
  // O arquivo tem as colunas "Dia Mes Ano Hora  Valor"

    gp2 = fopen("temp.txt", "r");
    if (gp2 == NULL)
      {

         ShowMessage("Nao consegui abrir o arquivo temp.txt");
         saida = 1;
         Form2->Close();


      }
    else
```

```
  {
     //ShowMessage("Consegui abrir o arquivo temp.txt");
     fscanf(gp2, "%s", arquivo);
     fclose(gp2);
     system("delete   temp.txt");
     //ShowMessage(arquivo);
  }

//ShowMessage(arquivo);
//Form3->Close();
fp2 = fopen(arquivo, "r");
if (fp2 == NULL && saida == 0)
  {

     strcpy(msg,"Nao consegui abrir o arquivo iiii");
     strcat(msg, arquivo);
     ShowMessage(msg);
     saida = 1;
     Form2->Close();


  }

i = 0;
min = 10000000;
max = -10000000;

//ShowMessage("OIIIIII");
while( (fgets(str, 500, fp2 ) != NULL) && saida == 0)
 {
    //if ( i < 10)
     //ShowMessage(str);
    sscanf(str,"%d %d %d %d %s ", &dia1, &mes1, &ano1, &hora1, str2);



    // Trocar caracteres ","  por "."
    ptr = strchr(str2, c);
    while (ptr)
      {

         j = (int)(ptr - str2);
         str2[j] = '.';
         ptr = strchr(str2, c);
      }

    valor[i] = atof(str2);
    //if ( i < 10)
     //ShowMessage(FloatToStr(valor[i]));


     if (min > hora1)
           min = hora1;

     if (max < hora1)
           max = hora1;
```

```
         hora[i] = tempo(hora1,4);

         i = i + 1;
     }


  // se a opcao for 2
  if( opcao == 2 && saida == 0)
    {

       //Form2->Label4->Caption = "Os valores dos limites de integração
são: inferior = " + IntToStr(min);
       Form2->Label4->Caption = "Os valores dos limites de integração são:
inferior = 0";
       Form2->Label4->Caption = Form2->Label4->Caption + " e superior = " +
IntToStr(max);
       //Form2->Edit1->Text = IntToStr(min);
       Form2->Edit1->Text = IntToStr(0);
       Form2->Edit2->Text = IntToStr(max);
    }

    // Calcular o valor da integral, conforme escolha dos limites
    // Considera-se a regra do trapézio


  if( opcao == 1 && saida == 0)
     {

      // Calcular o valor de Y(inf)  e a area inicial

      indiceInicial = 0;
      indiceFinal = i - 1;

      if ( sup <=  hora[indiceInicial] && inf >=0 && saida == 0)
        {

           y = (inf*(valor[indiceInicial]))/(hora[indiceInicial]);
           y1 = (sup*(valor[indiceInicial]))/(hora[indiceInicial]);
           area = (y + y1)*(sup - inf)/2.0;

           ShowMessage("O Valor da area e igual a "+ FloatToStr(area));
           Form2->Label5->Caption =  "Resultado da Integração: ";
           Form2->Label5->Caption =  Form2->Label5->Caption +
FloatToStr(area);
           saida = 1;
           //Form3->Close();

        }
      if (  (inf < 0  || sup > tempo(max, 4) || inf == tempo(max, 4) || sup
== tempo(min, 4) )   && saida == 0)
        {

           ShowMessage("Limite inferior ou superior está errado");
           saida = 1;
           //Form3->Close();

        }
```

```
      if (inf >= hora[indiceFinal-1] && sup <= hora[indiceFinal] && saida
== 0)
        {

           y = ((inf - hora[indiceFinal-1])*(valor[indiceFinal] -
valor[indiceFinal-1]))/(hora[indiceFinal] - hora[indiceFinal-1]);
           y = y +  valor[indiceFinal-1];
           y1 = ((sup - hora[indiceFinal-1])*(valor[indiceFinal] -
valor[indiceFinal-1]))/(hora[indiceFinal] - hora[indiceFinal-1]);
           y1 = y1 +  valor[indiceFinal - 1];
           area = (y + y1)*(sup - inf)/2.0;

           ShowMessage("O Valor da area e igual a "+ FloatToStr(area));
           Form2->Label5->Caption =  "Resultado da Integração: ";
           Form2->Label5->Caption =  Form2->Label5->Caption +
FloatToStr(area);
           saida = 1;
           //Form3->Close();
        }

     //
     // Calculo da area inicial
     //

      i = indiceInicial;
      while( i <= indiceFinal && saida == 0)
        {

            if(  (hora[i] > inf) && (inf > 0) && (i > indiceInicial) )
             {

               j = i - 1;
               y = ((inf - hora[j])*(valor[i] - valor[j]))/(hora[i] -
hora[j]);
               y = y + valor[j];
               if( hora[i] <= sup)
                 {

                  area = ((hora[i] - inf))*(y + valor[i])/2.0;
                  indiceInicial = i;

                 }
               else
                 {

                   y1 = ((sup - hora[j])*(valor[i] - valor[j]))/(hora[i] -
hora[j]);
                   y1 = y1 + valor[j];
                   area = ((sup - inf))*(y1 + y)/2.0;
                   fim = 1;
                   indiceInicial = max;

                 }

               i =  indiceFinal + 1;
```

```
             }
            else
              if ((inf > 0) &&  (hora[i] > inf) && (i == indiceInicial) )
               {

                  y = (inf*valor[i])/hora[i];
                  area = (y + valor[i])*(hora[i] - inf)/2.0;
                  i =  indiceFinal + 1;

               }
              else
               if ((inf == 0) &&  (hora[i] > inf) && (i >= indiceInicial))
                 {
                  area = (valor[i]*hora[i])/2.0;
                  indiceInicial = i;
                  i =  indiceFinal + 1;

                 }
                else
                 if((inf == 0 || inf > 0) &&  (hora[i] == inf) && (i >=
indiceInicial))
                   {
                    area = 0;
                    indiceInicial = i;
                    i =  indiceFinal + 1;
                   }


            i = i + 1;
        }

      // Calcular o valor restante da área
      i = indiceInicial;
      j = i + 1;
      while(j <= indiceFinal && !fim && saida == 0)
        {
            if(  hora[i] < sup && hora[j] < sup)
             {

                  area = area + ((hora[j] - hora[i]))*(valor[j] +
valor[i])/2.0;

             }
            else
              if ( (hora[j] > sup || hora[j]== sup) && hora[i] < sup)
                {


                  y = (sup*(valor[j] - valor[i]))/(hora[j] - hora[i]);
                  y = y + (hora[j]*valor[i] - hora[i]*valor[j])/(hora[j] -
hora[i]);
                  area = area + ((sup - hora[i]))*(y + valor[i])/2.0;
                  j =  indiceFinal + 1;
                  indiceFinal = i;

                }
            i = i + 1;
```

```
            j = i + 1;
        }


      if (saida == 0)
       {

          ShowMessage("O Valor da area e igual a "+ FloatToStr(area));
          Form2->Label5->Caption =  "Resultado da Integração: ";
          Form2->Label5->Caption =  Form2->Label5->Caption +
FloatToStr(area);

       }

     }

     //Inserir valores limites nos campos Edit1->Text e Edit2->Text


  }  // fim da rotina calcula


//---------------------------------------------------------------------------
__fastcall TForm2::TForm2(TComponent* Owner)
    : TForm(Owner)
{

}
//---------------------------------------------------------------------------

void __fastcall TForm2::Button2Click(TObject *Sender)
{
   Form2->Close();
}
//---------------------------------------------------------------------------

void __fastcall TForm2::Button1Click(TObject *Sender)
{
   long inf, sup;

    inf = StrToInt(Edit1->Text);
    sup = StrToInt(Edit2->Text);
    if (inf == sup)
     {
        ShowMessage("limites são iguais. A área é zero");
     }
    else
     if (inf > sup)
      {
        ShowMessage("limite inferior é maior que o superior");

      }
     else
      calcula(1, inf, sup);
}
//---------------------------------------------------------------------------
```

```
void __fastcall TForm2::Button3Click(TObject *Sender)
{

   calcula(2, 0, 0);

}
//---------------------------------------------------------------------------

void __fastcall TForm2::FormCreate(TObject *Sender)
{
   //calcula(3, 0, 0);
}
//---------------------------------------------------------------------------



Unit 3
//---------------------------------------------------------------------------

#include <vcl.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#pragma hdrstop

#include "Unit3.h"
//---------------------------------------------------------------------------
--
#pragma package(smart_init)
#pragma resource "*.dfm"
TForm3 *Form3;

#define limite 500
float tempo2(long hora, int tipo)
  {
    long j;
    int comprimento,  min1, min2, h1, h2;
    char h[30], num[3];
    float result;

    itoa((int)hora, h, 10);
    comprimento = strlen(h);

     result = 1;
    if(comprimento <= 2 && tipo == 6)
      result = -1.0;

    if(comprimento == 6 && tipo == 6 && (hora > 240000))
      result = -1.0;

    if(comprimento > 4  && tipo == 4)
      result = -1.0;

    if(comprimento == 4  && tipo == 4 && hora > 2400)
      result = -1.0;

    if(hora < 0)
```

```
  result = -1.0;

if(tipo == 4 && result > 0)
  {

    if(comprimento == 4 )
     {
        num[0] = h[0];
        num[1] = '\0';
        h2 = atoi(num);
        num[0] = h[1];
        num[1] = '\0';
        h1 = atoi(num);
        num[0] = h[2];
        num[1] = '\0';
        min2 = atoi(num);
        num[0] = h[3];
        num[1] = '\0';
        min1 = atoi(num);

     }
    else
     if( comprimento == 3)
       {
         h2 = 0;
         num[0] = h[0];
         num[1] = '\0';
         h1 = atoi(num);
         num[0] = h[1];
         num[1] = '\0';
         min2 = atoi(num);
         num[0] = h[2];
         num[1] = '\0';
         min1 = atoi(num);

       }
      else
        if( comprimento == 2)
         {

            h2 = 0;
            h1 = 0;
            num[0] = h[0];
            num[1] = '\0';
            min2 = atoi(num);
            num[0] = h[1];
            num[1] = '\0';
            min1 = atoi(num);

         }
        else
          if( comprimento == 1)
            {

              h2 = 0;
              h1 = 0;
              min2 = 0;
```

```
                num[0] = h[0];
                num[1] = '\0';
                min1 = atoi(num);

              }


          result = (float)h2*10 + (float)h1 + (float)(min2*10 +
min1)/60.0;

      }
    else
     if(tipo == 6  && result > 0)
       {

        if(comprimento == 6)
         {

          num[0] = h[0];
          num[1] = '\0';
          h2 = atoi(num);
          num[0] = h[1];
          num[1] = '\0';
          h1 = atoi(num);
          num[0] = h[2];
          num[1] = '\0';
          min2 = atoi(num);
          num[0] = h[3];
          num[1] = '\0';
          min1 = atoi(num);

         }
        else
          if(comprimento == 5)
            {
              h2 = 0;
              num[0] = h[0];
              num[1] = '\0';
              h1 = atoi(num);
              num[0] = h[1];
              num[1] = '\0';
              min2 = atoi(num);
              num[0] = h[2];
              num[1] = '\0';
              min1 = atoi(num);


            }
           else
             if(comprimento == 4)
              {
                 h2 = 0;
                 h1 = 0;
                 num[0] = h[0];
                 num[1] = '\0';
                 min2 = atoi(num);
                 num[0] = h[1];
```

```
                num[1] = '\0';
                min1 = atoi(num);

             }
            else
              if(comprimento == 3)
               {

                  h2 = 0;
                  h1 = 0;
                  min2 = 0;
                  num[0] = h[0];
                  num[1] = '\0';
                  min1 = atoi(num);

               }
          if (comprimento == 6 || comprimento == 5 || comprimento == 4 ||
comprimento == 3)
             result = (float)h2*10 + (float)h1 + (float)(min2*10 +
min1)/60.0;

       }


    return(result);
  }

void calcula2(int opcao, long inf1, long sup1)
  {
   char   msg[100], str[200], str2[20], arquivo[100];
   char  *ptr, c = ',';
   long  data[limite];
   float valor[limite],  area, y, y1, inf, sup,   hora[limite];
   int i, j, saida;
   long data1,  hora1;
   int min, max, indiceInicial, indiceFinal, fim=0;
   char x1[10], x2[10], x3[10], x4[10], x5[10], x6[10], x7[10], x8[10],
x9[10];
   FILE *fp2, *gp2;

   saida = 0;
   sup = tempo2(sup1,6);
   if( inf1 >= 100)
      inf = tempo2(inf1, 6);
   else
     inf = 0;

   //Ler arquivo para verificar limites de integracao
  // O arquivo tem as colunas "Dia Mes Ano Hora  Valor"

    gp2 = fopen("temp.txt", "r");
    if (gp2 == NULL)
      {

         ShowMessage("Nao consegui abrir o arquivo temp.txt");
         saida = 1;
         Form3->Close();
```

```
      }
    else
      {
         //ShowMessage("Consegui abrir o arquivo temp.txt");
         fscanf(gp2, "%s", arquivo);
         fclose(gp2);
         system("delete   temp.txt");
         //ShowMessage(arquivo);
      }

    //ShowMessage(arquivo);
    //Form3->Close();
    fp2 = fopen(arquivo, "r");
    if (fp2 == NULL && saida == 0)
      {

         strcpy(msg,"Nao consegui abrir o arquivo iiii");
         strcat(msg, arquivo);
         ShowMessage(msg);
         saida = 1;
         Form3->Close();


      }

    i = 0;
    min = 1000000;
    max = -1000000;

    //ShowMessage("OIIIIII");
    while( (fgets(str, 500, fp2 ) != NULL) && saida == 0)
     {
        //if ( i < 10)
         //ShowMessage(str);
        sscanf(str,"%d %d %s %s %s %s %s %s %s %s %s %s ", &data1, &hora1,
x1, x2, x3, x4, x5, x6, x7, x8, x9, str2);
        data[i] = data1;


        // Trocar caracteres ","  por "."
        ptr = strchr(str2, c);
        while (ptr)
          {

             j = (int)(ptr - str2);
             str2[j] = '.';
             ptr = strchr(str2, c);
          }

        valor[i] = atof(str2);
        //if ( i < 10)
         //ShowMessage(FloatToStr(valor[i]));


         if (min > hora1)
```

```
              min = hora1;

          if (max < hora1)
                max = hora1;

          hora[i] = tempo2(hora1,6);

         i = i + 1;
     }


  // se a opcao for 2
  if( opcao == 2 && saida == 0)
    {

       //Form3->Label4->Caption = "Os valores dos limites de integração
são: inferior = " + IntToStr(min);
       Form3->Label4->Caption = "Os valores dos limites de integração são:
inferior = 0";
       Form3->Label4->Caption = Form3->Label4->Caption + " e superior = " +
IntToStr(max);
       //Form3->Edit1->Text = IntToStr(min);
       Form3->Edit1->Text = IntToStr(0);
       Form3->Edit2->Text = IntToStr(max);
    }

    // Calcular o valor da integral, conforme escolha dos limites
    // Considera-se a regra do trapézio


  if( opcao == 1 && saida == 0)
     {

      // Calcular o valor de Y(inf)  e a area inicial

      indiceInicial = 0;
      indiceFinal = i - 1;

      if ( sup <=  hora[indiceInicial] && inf >= 0 && saida == 0)
        {

           y = (inf*(valor[indiceInicial]))/(hora[indiceInicial]);
           y1 = (sup*(valor[indiceInicial]))/(hora[indiceInicial]);
           area = (y + y1)*(sup - inf)/2.0;

           ShowMessage("O Valor da area e igual a "+ FloatToStr(area));
           Form3->Label5->Caption =  "Resultado da Integração: ";
           Form3->Label5->Caption =  Form3->Label5->Caption +
FloatToStr(area);
           saida = 1;
           //Form3->Close();

        }
      if (  (inf < 0  || sup > tempo2(max,6) || inf == tempo2(max,6) || sup
== tempo2(min,6) )   && saida == 0)
        {
```

```
            ShowMessage("sup = " + FloatToStr(sup));
            ShowMessage("inf = " + FloatToStr(inf));
            ShowMessage("max = " + FloatToStr(tempo2(max,6)));
            ShowMessage("min = " + FloatToStr(tempo2(min,6)));
            ShowMessage("Limite inferior ou superior está errado");
            saida = 1;
            //Form3->Close();

          }

       if (inf >= hora[indiceFinal-1] && sup <= hora[indiceFinal] && saida
== 0)
          {

            y = ((inf - hora[indiceFinal-1])*(valor[indiceFinal] -
valor[indiceFinal-1]))/(hora[indiceFinal] - hora[indiceFinal-1]);
            y = y +  valor[indiceFinal-1];
            y1 = ((sup - hora[indiceFinal-1])*(valor[indiceFinal] -
valor[indiceFinal-1]))/(hora[indiceFinal] - hora[indiceFinal-1]);
            y1 = y1 +  valor[indiceFinal - 1];
            area = (y + y1)*(sup - inf)/2.0;

            ShowMessage("O Valor da area e igual a "+ FloatToStr(area));
            Form3->Label5->Caption =  "Resultado da Integração: ";
            Form3->Label5->Caption =  Form3->Label5->Caption +
FloatToStr(area);
            saida = 1;
            //Form3->Close();
          }

       //
       // Calculo da area inicial
       //

        i = indiceInicial;
        while( i <= indiceFinal && saida == 0)
          {

              if(  (hora[i] > inf) && (inf > 0) && (i > indiceInicial) )
               {

                  j = i - 1;
                  y = ((inf - hora[j])*(valor[i] - valor[j]))/(hora[i] -
hora[j]);
                  y = y + valor[j];
                  if( hora[i] <= sup)
                    {

                     area = ((hora[i] - inf))*(y + valor[i])/2.0;
                     indiceInicial = i;

                    }
                  else
                    {

                      y1 = ((sup - hora[j])*(valor[i] - valor[j]))/(hora[i] -
hora[j]);
```

```
                    y1 = y1 + valor[j];
                    area = ((sup - inf))*(y1 + y)/2.0;
                    fim = 1;
                    indiceInicial = max;

                  }

                 i =  indiceFinal + 1;

              }
             else
               if ((inf > 0.0) &&  (hora[i] > inf) && (i == indiceInicial) )
                {

                   y = (inf*valor[i])/hora[i];
                   area = (y + valor[i])*(hora[i] - inf)/2.0;
                   i =  indiceFinal + 1;

                }
               else
                if ((inf == 0.0) &&  (hora[i] > inf) && (i >=
indiceInicial))
                  {
                    area = (valor[i]*hora[i])/2.0;
                    indiceInicial = i;
                    i =  indiceFinal + 1;

                  }
                 else
                  if((inf >= 0.0) &&  (hora[i] == inf) && (i >=
indiceInicial))
                    {
                     area = 0;
                     indiceInicial = i;
                     i =  indiceFinal + 1;
                    }


             i = i + 1;
        }

      // Calcular o valor restante da área
      i = indiceInicial;
      j = i + 1;
      while(j <= indiceFinal && !fim && saida == 0)
        {
            if(  hora[i] < sup && hora[j] < sup)
             {

                  area = area + ((hora[j] - hora[i]))*(valor[j] +
valor[i])/2.0;

             }
            else
              if ( hora[j] >= sup && hora[i] < sup)
                {
```

```
                    y = ((float)sup*(valor[j] - valor[i]))/(hora[j] -
hora[i]);
                    y = y + (hora[j]*valor[i] - hora[i]*valor[j])/(hora[j] -
hora[i]);
                    area = area + ((float)(sup - hora[i]))*(y +
valor[i])/2.0;
                    j =  indiceFinal + 1;
                    indiceFinal = i;

                 }
              i = i + 1;
              j = i + 1;
          }


       if (saida == 0)
        {

           ShowMessage("O Valor da area e igual a "+ FloatToStr(area));
           Form3->Label5->Caption =  "Resultado da Integração: ";
           Form3->Label5->Caption =  Form3->Label5->Caption +
FloatToStr(area);

        }

      }

      //Inserir valores limites nos campos Edit1->Text e Edit2->Text


  }  // fim da rotina calcula
//---------------------------------------------------------------------------
--
__fastcall TForm3::TForm3(TComponent* Owner)
    : TForm(Owner)
{
}
//---------------------------------------------------------------------------

void __fastcall TForm3::Button1Click(TObject *Sender)
{
   Form3->Close();
}
//---------------------------------------------------------------------------

void __fastcall TForm3::Button2Click(TObject *Sender)
{
    long inf, sup;

    inf = StrToInt(Edit1->Text);
    sup = StrToInt(Edit2->Text);
    //ShowMessage(IntToStr(sup));
    //ShowMessage(IntToStr(inf));
    if (inf == sup)
     {
        ShowMessage("limites são iguais. A área é zero");
```

```
     }
    else
     if (inf > sup)
      {
        ShowMessage("limite inferior é maior que o superior");

      }
     else
       if (inf < 0)
         ShowMessage("limite inferior é menor que zero");
       else
         calcula2(1, inf, sup);
}
//---------------------------------------------------------------------------
--

void __fastcall TForm3::Button3Click(TObject *Sender)
{

   calcula2(2, 0, 0);

}
//---------------------------------------------------------------------------


Unit 4
//---------------------------------------------------------------------------
--
#include <vcl.h>
#pragma hdrstop
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include "Unit4.h"
//---------------------------------------------------------------------------
--
#pragma package(smart_init)
#pragma resource "*.dfm"
TForm4 *Form4;

#define limite 500

float tempo3(long hora, int tipo)
  {
    long j;
    int comprimento,  min1, min2, h1, h2;
    char h[30], num[3];
    float result;

    itoa((int)hora, h, 10);
    comprimento = strlen(h);

     result = 1;
    if(comprimento <= 2 && tipo == 6)
      result = -1.0;

    if(comprimento == 6 && tipo == 6 && (hora > 240000))
      result = -1.0;
```

```
if(comprimento > 4  && tipo == 4)
  result = -1.0;

if(comprimento == 4  && tipo == 4 && hora > 2400)
  result = -1.0;

if(hora < 0)
  result = -1.0;

if(tipo == 4 && result > 0)
  {

    if(comprimento == 4 )
     {
        num[0] = h[0];
        num[1] = '\0';
        h2 = atoi(num);
        num[0] = h[1];
        num[1] = '\0';
        h1 = atoi(num);
        num[0] = h[2];
        num[1] = '\0';
        min2 = atoi(num);
        num[0] = h[3];
        num[1] = '\0';
        min1 = atoi(num);

     }
    else
     if( comprimento == 3)
       {
         h2 = 0;
         num[0] = h[0];
         num[1] = '\0';
         h1 = atoi(num);
         num[0] = h[1];
         num[1] = '\0';
         min2 = atoi(num);
         num[0] = h[2];
         num[1] = '\0';
         min1 = atoi(num);

       }
      else
        if( comprimento == 2)
         {

            h2 = 0;
            h1 = 0;
            num[0] = h[0];
            num[1] = '\0';
            min2 = atoi(num);
            num[0] = h[1];
            num[1] = '\0';
            min1 = atoi(num);
```

```
            }
           else
             if( comprimento == 1)
               {

                 h2 = 0;
                 h1 = 0;
                 min2 = 0;
                 num[0] = h[0];
                 num[1] = '\0';
                 min1 = atoi(num);

               }


          result = (float)h2*10 + (float)h1 + (float)(min2*10 +
min1)/60.0;

      }
    else
     if(tipo == 6  && result > 0)
       {

        if(comprimento == 6)
         {

           num[0] = h[0];
           num[1] = '\0';
           h2 = atoi(num);
           num[0] = h[1];
           num[1] = '\0';
           h1 = atoi(num);
           num[0] = h[2];
           num[1] = '\0';
           min2 = atoi(num);
           num[0] = h[3];
           num[1] = '\0';
           min1 = atoi(num);

         }
        else
          if(comprimento == 5)
            {
              h2 = 0;
              num[0] = h[0];
              num[1] = '\0';
              h1 = atoi(num);
              num[0] = h[1];
              num[1] = '\0';
              min2 = atoi(num);
              num[0] = h[2];
              num[1] = '\0';
              min1 = atoi(num);


            }
           else
```

```
              if(comprimento == 4)
               {
                  h2 = 0;
                  h1 = 0;
                  num[0] = h[0];
                  num[1] = '\0';
                  min2 = atoi(num);
                  num[0] = h[1];
                  num[1] = '\0';
                  min1 = atoi(num);

               }
              else
                if(comprimento == 3)
                 {

                    h2 = 0;
                    h1 = 0;
                    min2 = 0;
                    num[0] = h[0];
                    num[1] = '\0';
                    min1 = atoi(num);

                 }
           if (comprimento == 6 || comprimento == 5 || comprimento == 4 ||
comprimento == 3)
              result = (float)h2*10 + (float)h1 + (float)(min2*10 +
min1)/60.0;

       }


    return(result);
  }

void calcula3(int opcao, long inf1, long sup1)
  {
   char   msg[100], str[200], str2[20], arquivo[100];
   char  *ptr, c = ',';
   long  data[limite];
   float valor[limite],  area, y, y1, sup, inf,  hora[limite];
   int i, j, saida;
   long data1,  hora1;
   int min, max, indiceInicial, indiceFinal, fim=0;
   char x1[10], x2[10], x3[10], x4[10], x5[10], x6[10], x7[10], x8[10],
x9[10];
   FILE *fp2, *gp2;

   saida = 0;
   sup = tempo3(sup1,4);
   inf = tempo3(inf1, 4);
   //Ler arquivo para verificar limites de integracao
  // O arquivo tem as colunas "Dia Mes Ano Hora  Valor"

    gp2 = fopen("temp.txt", "r");
    if (gp2 == NULL)
      {
```

```
          ShowMessage("Nao consegui abrir o arquivo temp.txt");
          saida = 1;
          Form4->Close();


        }
      else
        {
          //ShowMessage("Consegui abrir o arquivo temp.txt");
          fscanf(gp2, "%s", arquivo);
          fclose(gp2);
          system("delete   temp.txt");
          //ShowMessage(arquivo);
        }

      //ShowMessage(arquivo);
      //Form3->Close();
      fp2 = fopen(arquivo, "r");
      if (fp2 == NULL && saida == 0)
        {

          strcpy(msg,"Nao consegui abrir o arquivo iiii");
          strcat(msg, arquivo);
          ShowMessage(msg);
          saida = 1;
          Form4->Close();


        }

      i = 0;
      min = 10000;
      max = -10000;

      //ShowMessage("OIIIIII");
      while( (fgets(str, 500, fp2 ) != NULL) && saida == 0)
       {
          //if ( i < 10)
           //ShowMessage(str);

          sscanf(str,"%d %d %s %s %s %s %s %s %s %s %s %s ", &data1, &hora1,
x1, x2, x3, x4, x5, x6, x7, x8, x9, str2);
          data[i] = data1;
          hora[i] = hora1;

          // Trocar caracteres ","  por "."
          ptr = strchr(str2, c);
          while (ptr)
            {

              j = (int)(ptr - str2);
              str2[j] = '.';
              ptr = strchr(str2, c);
            }

          valor[i] = atof(str2);
```

```
        //if ( i < 10)
         //ShowMessage(FloatToStr(valor[i]));


         if (min > hora1)
               min = hora1;

         if (max < hora1)
               max = hora1;

        hora[i] = tempo3(hora1,4);
        i = i + 1;
     }


  // se a opcao for 2
  if( opcao == 2 && saida == 0)
    {

       //Form4->Label4->Caption = "Os valores dos limites de integração
são: inferior = " + IntToStr(min);
       Form4->Label4->Caption = "Os valores dos limites de integração são:
inferior = 0";
       Form4->Label4->Caption = Form4->Label4->Caption + " e superior = " +
IntToStr(max);
       //Form4->Edit1->Text = IntToStr(min);
       Form4->Edit1->Text = IntToStr(0);
       Form4->Edit2->Text = IntToStr(max);
    }

    // Calcular o valor da integral, conforme escolha dos limites
    // Considera-se a regra do trapézio


  if( opcao == 1 && saida == 0)
     {

      // Calcular o valor de Y(inf)  e a area inicial

      indiceInicial = 0;
      indiceFinal = i - 1;

      if ( sup <=  hora[indiceInicial] && inf >=0 && saida == 0)
        {

           y = ((float)inf*(valor[indiceInicial]))/(hora[indiceInicial]);
           y1 = ((float)sup*(valor[indiceInicial]))/(hora[indiceInicial]);
           area = (y + y1)*(sup - inf)/2.0;

           ShowMessage("O Valor da area e igual a "+ FloatToStr(area));
           Form4->Label5->Caption =  "Resultado da Integração: ";
           Form4->Label5->Caption =  Form4->Label5->Caption +
FloatToStr(area);
           saida = 1;
           //Form3->Close();

        }
```

```
      if (  (inf < 0  || sup > tempo3(max, 4) || inf == tempo3(max, 4) ||
sup == tempo3(min, 4) )   && saida == 0)
        {

           ShowMessage("Limite inferior ou superior está errado");
           saida = 1;
           //Form4->Close();

        }

      if (inf >= hora[indiceFinal-1] && sup <= hora[indiceFinal] && saida
== 0)
        {
           y = ((float)(inf - hora[indiceFinal-1])*(valor[indiceFinal] -
valor[indiceFinal-1]))/(hora[indiceFinal] - hora[indiceFinal-1]);
           y = y +  valor[indiceFinal-1];
           y1 = ((float)(sup - hora[indiceFinal-1])*(valor[indiceFinal] -
valor[indiceFinal-1]))/(hora[indiceFinal] - hora[indiceFinal-1]);
           y1 = y1 +  valor[indiceFinal - 1];
           area = (y + y1)*(sup - inf)/2.0;

           ShowMessage("O Valor da area e igual a "+ FloatToStr(area));
           Form4->Label5->Caption =  "Resultado da Integração: ";
           Form4->Label5->Caption =  Form4->Label5->Caption +
FloatToStr(area);
           saida = 1;
           //Form3->Close();
        }

     //
     // Calculo da area inicial
     //

      i = indiceInicial;
      while( i <= indiceFinal && saida == 0)
        {

            if(  (hora[i] > inf) && (inf > 0) && (i > indiceInicial) )
             {

               j = i - 1;
               y = ((inf - hora[j])*(valor[i] - valor[j]))/(hora[i] -
hora[j]);
               y = y + valor[j];
               if( hora[i] <= sup)
                 {

                  area = ((hora[i] - inf))*(y + valor[i])/2.0;
                  indiceInicial = i;

                 }
               else
                 {

                   y1 = ((sup - hora[j])*(valor[i] - valor[j]))/(hora[i] -
hora[j]);
                   y1 = y1 + valor[j];
```

```
                    area = ((sup - inf))*(y1 + y)/2.0;
                    fim = 1;
                    indiceInicial = max;

                  }

                 i =  indiceFinal + 1;

              }
             else
               if ((inf > 0) &&  (hora[i] > inf) && (i == indiceInicial) )
                {

                   y = (inf*valor[i])/hora[i];
                   area = (y + valor[i])*(hora[i] - inf)/2.0;
                   i =  indiceFinal + 1;

                }
               else
                if ((inf == 0) &&  (hora[i] > inf) && (i >= indiceInicial))
                  {
                    area = (valor[i]*hora[i])/2.0;
                    indiceInicial = i;
                    i =  indiceFinal + 1;

                  }
                 else
                  if((inf >= 0) &&  (hora[i] == inf) && (i >=
indiceInicial))
                    {
                     area = 0;
                     indiceInicial = i;
                     i =  indiceFinal + 1;
                    }


             i = i + 1;
        }

      // Calcular o valor restante da área
      i = indiceInicial;
      j = i + 1;
      while(j <= indiceFinal && !fim && saida == 0)
        {


             if(  hora[i] < sup && hora[j] < sup)
              {

                   area = area + ((hora[j] - hora[i]))*(valor[j] +
valor[i])/2.0;

              }
             else
               if ( hora[j] >= sup && hora[i] < sup)
                 {
```

```
                  y = (sup*(valor[j] - valor[i]))/(hora[j] - hora[i]);
                  y = y + (hora[j]*valor[i] - hora[i]*valor[j])/(hora[j] -
hora[i]);
                  area = area + ((sup - hora[i]))*(y + valor[i])/2.0;
                  j =  indiceFinal + 1;
                  indiceFinal = i;

               }
            i = i + 1;
            j = i + 1;
        }


      if (saida == 0)
       {

          ShowMessage("O Valor da area e igual a "+ FloatToStr(area));
          Form4->Label5->Caption =  "Resultado da Integração: ";
          Form4->Label5->Caption =  Form4->Label5->Caption +
FloatToStr(area);

       }

     }

     //Inserir valores limites nos campos Edit1->Text e Edit2->Text


  }  // fim da rotina calcula


//---------------------------------------------------------------------------
--
__fastcall TForm4::TForm4(TComponent* Owner)
    : TForm(Owner)
{
}
//---------------------------------------------------------------------------
--

void __fastcall TForm4::Button1Click(TObject *Sender)
{
  Form4->Close();
}
//---------------------------------------------------------------------------
--

void __fastcall TForm4::Button2Click(TObject *Sender)
{
   long inf, sup;

    inf = StrToInt(Edit1->Text);
    sup = StrToInt(Edit2->Text);
    if (inf == sup)
     {
        ShowMessage("limites são iguais. A área é zero");
```

```
     }
    else
     if (inf > sup)
      {
        ShowMessage("limite inferior é maior que o superior");

      }
     else
      calcula3(1, inf, sup);
}
//---------------------------------------------------------------------------
--
void __fastcall TForm4::Button3Click(TObject *Sender)
{

   calcula3(2, 0, 0);

}
//---------------------------------------------------------------------------
```

APÊNDICE 2 – Código fonte do programa de leitura dos dados do GOES

```
pro goes
compile_opt STRICTARR

;operando em batch mode
  envi, /restore_base_save_files
  envi_batch_init, log_file='C:/radar//batch.log'

  ; Open a data file

;offset=124
ns=490
nl=190
;matrizo=float(ns,nl)

fname =
FINDFILE('c:/copia_de_tudo/goes12/canal4/ch_0401/completar/jaboti/*.ch*',
count=var)
  Print, var

  FOR k = 0,var-1  DO BEGIN

 fname1 = fname[k]

fname_saida=$
STRMID(fname1, 0,STRPOS(fname1,".ch4",/reverse_search))+".ch4."
print, fname1
;Adicionando ENVI header

print, fname_saida
nbg=1

ENVI_SETUP_HEAD, fname=fname_saida, $
  ns=ns, nl=nl, nb=nbg, $
  interleave=0, data_type=2, byte_order=1, $
  offset=offset, file_type=0, /write

;open file
envi_open_data_file, fname_saida, /envi,$
r_fid=fidsaida
  if (fidsaida eq -1) then return

envi_file_query, fidsaida, ns=ns, nl=nl, nb=nb
print, ns,nl,nb

matsaida = ENVI_GET_DATA(FID = fidsaida, $
DIMS = [-1l, 0, ns-1, 0, nl-1], pos=[0])

mat_est1=[(matsaida[254,59]), (matsaida[255,59]), (matsaida[253,59]), $
(matsaida[253,60]),(matsaida[254,60]),(matsaida[255,60]), $
```

```
(matsaida[254,61]),(matsaida[255,61]),(matsaida[253,61])]
print, mat_est1

mat_est2=string(mat_est1)

out_name_est =$
STRMID(fname[k], 0,STRPOS(fname[k],".",/reverse_search))+"_est1.txt"
openw, unit, out_name_est, /get_lun
writeu, unit, 'Jaboticabal'
writeu, unit, mat_est2
free_lun, unit
;mat_est1=[(matsaida[292,99]), (matsaida[293,99]), (matsaida[291,99]), $
;(matsaida[291,100]),(matsaida[292,100]),(matsaida[293,100]), $
;(matsaida[292,101]),(matsaida[293,101]),(matsaida[291,101])]
;print, mat_est1

;mat_est2=string(mat_est1)

;out_name_est =$
;STRMID(fname[k], 0,STRPOS(fname[k],".",/reverse_search))+"_est2.txt"
;openw, unit, out_name_est, /get_lun
;writeu, unit, 'Esalq'
;writeu, unit, mat_est2
;free_lun, unit
;ggggggggggggggggggggg
;mat_est1=[(matsaida[264,62]), (matsaida[265,62]), (matsaida[263,62]), $
;(matsaida[263,63]),(matsaida[264,63]),(matsaida[265,63]), $
;(matsaida[264,64]),(matsaida[265,64]),(matsaida[263,64])]
;print, mat_est1

;mat_est2=string(mat_est1)

;out_name_est =$
;STRMID(fname[k], 0,STRPOS(fname[k],".",/reverse_search))+"_est3.txt"
;openw, unit, out_name_est, /get_lun
;writeu, unit, 'pradopolis'
;writeu, unit, mat_est2
;free_lun, unit
;hhhhhhhhhhhhhhhhhhhhh
;mat_est1=[(matsaida[286,99]), (matsaida[287,99]), (matsaida[285,99]), $
;(matsaida[285,100]),(matsaida[286,100]),(matsaida[287,100]), $
;(matsaida[286,101]),(matsaida[287,101]),(matsaida[285,101])]
;print, mat_est1

;mat_est2=string(mat_est1)

;out_name_est =$
;STRMID(fname[k], 0,STRPOS(fname[k],".",/reverse_search))+"_est4.txt"
;openw, unit, out_name_est, /get_lun
;writeu, unit, 'piracicaba'
;writeu, unit, mat_est2
;free_lun, unit
;iiiiiiiiiiiiiiiiiiii
endfor
print, 'fim do programa'
end
```

APÊNDICE 3 – Código fonte do programa de leitura e georreferenciamento dos dados do radar

```
pro radar
compile_opt STRICTARR

;operando em batch mode
  envi, /restore_base_save_files
  envi_batch_init, log_file='C:/Meus
documentos/Wander/Teste/Teste/batch.log'


;algoritmo para leitura do aquivo txt
fnametxt = FINDFILE('c:/copia_de_tudo/radar2004/09dez/*.txt', count=var)

;cria as pastas

;file_mkdir, 'c:/copia_de_tudo/radar2004/04dez/prec/jaboticabal'
file_mkdir, 'C:/copia_de_tudo/radar2004/09dez/MOD/esalq'
;file_mkdir, 'C:/copia_de_tudo/radar2004/05jan/prec/pradopolis'
;file_mkdir, 'C:/copia_de_tudo/radar2004/04dez/prec/piracicaba'

file_mkdir, 'c:/copia_de_tudo/radar2004/09dez/mod/mod'

qte_erro=0

FOR k = 0,var-1  DO BEGIN

close, 1
close, 2

titulo=strarr(1)
lin_entrada=fltarr(3)
nlinhas=0L
lin=0L
flag=0


openr,1,fnametxt[k]

fndwrd , fnametxt[k], letras, ini, tam_nome

pos=tam_nome[0,0]

nome1=strep(fnametxt[k], 'D', 0,pos-8)
nome2='_erro.txt'

If nome1 NE nome2 then  begin $


while not EOF(1) do begin $
    readf,1,titulo
    nlinhas=nlinhas+1
endwhile
```

```
print,'Arquivo: ', fnametxt[k]
print,'Quantidade de linhas do arquivo: ' , nlinhas

close, 1

mat=fltarr(480,480)
mat2=fltarr(3,nlinhas)
mat1=intarr(3,nlinhas)
mat_string=strarr(1,nlinhas-1)

openr, 1,fnametxt[k]
readf, 1, mat_string
close, 1

openr, 1,fnametxt[k]
 ;leitura do arquivo todo
  while not EOF(1) do begin $
    readf, 1, titulo
    texto=isnumber(titulo)
    IF texto NE 0 then begin $
       fndwrd , titulo ,tamanho, inicio, tam_numeros
       IF tamanho EQ 3 then begin $

lin_entrada=(strsub(titulo,inicio[0,0],inicio[0,0]+tam_numeros[0,0]))
         mat2[0,lin]=float(lin_entrada)

lin_entrada=(strsub(titulo,inicio[1,0],inicio[1,0]+tam_numeros[1,0]))
         mat2[1,lin]=float(lin_entrada)

lin_entrada=(strsub(titulo,inicio[2,0],inicio[2,0]+tam_numeros[2,0]))
         mat2[2,lin]=float(lin_entrada)
       endif
       IF tamanho NE 3 then begin $
       ;mudar de nome _erro
        fnametxterro= STRMID(fnametxt[k],
0,STRPOS(fnametxt[k],".",/reverse_search))+"_erro.txt"
        openw, 2,fnametxterro
        printf, 2, mat_string
        print, 'Matriz com erro! :' + fnametxterro
        print, 'Erro na linha: ', lin
        qte_erro=qte_erro+1
        close,2
        close,1
        file_delete, STRMID(fnametxt[k],
0,STRPOS(fnametxt[k],".",/reverse_search))+".txt"
        flag=1
        break
        endif
    lin=lin+1
    endif
 endwhile
close, 1


if flag NE 1 then begin $

print,'Primeira linha da mariz: ', mat2[*,0]
```

```
print,'Última linha da matriz: ',  mat2[*,lin-1]


mat1[0,*]=fix(mat2[0,*])
mat1[1,*]=fix(mat2[1,*])

for i=0.,nlinhas-2 do begin
    coluna=mat1[1,i]
    linha=mat1[0,i]
    mat[coluna-1,linha-1]=mat2[2,i]
endfor
;refletividade
;mat5=mat
;calculo da precipitação por marshall e palmer, 1948
;mat5=10^(((mat)-23.01)/16)

for i=0,479 do begin
    for j=0, 479 do begin
       if mat[i,j] LE 0 then $
         mat5[i,j] = 0 else continue
    endfor
endfor


;gerando a imagem-refletividade
close, 1

;pega o nome do arquivo
n_arquivo=strep(fnametxt[k], 'D',0, pos-19)

;diz o lugar onde vai gravar o arquivo _refl e o _refl_4m
n_lugar='c:/copia_de_tudo/radar2004/09dez/mod/mod/'+n_arquivo

fname_prec=STRMID(n_lugar, 0,STRPOS(n_lugar,".",/reverse_search))+"_mod"

openw, unit, fname_prec, /get_lun
writeu, unit, mat5
free_lun, unit

;Adicionando ENVI header

nbg=1

ps = [0.0097304, 0.0089992]
mc = [0, 0, -51.355296, -20.190192]
datum = 'WGS-84'

;
; Create the map information
;

  map_info = envi_map_info_create(/geographic, DATUM=datum,$
    mc=mc, ps=ps)

ENVI_SETUP_HEAD, fname=fname_prec, $
  ns=480, nl=480, nb=nbg, map_info=map_info, $
  interleave=0, data_type=4, $
```

```
  offset=0, file_type=0, /write


;open file
envi_open_data_file, fname_prec, /envi,$
r_fid=fidprec
  if (fidprec eq -1) then return

;resize
out_name_4m = STRMID(n_lugar,
0,STRPOS(n_lugar,".",/reverse_search))+"_mod_4m"
dims = [-1, 0, 479, 0, 479]
;possp=[0,1,2,3]

  envi_doit, 'resize_doit', $
    fid=fidprec, pos=0, dims=dims, $
    interp=0, rfact=[4,4], $
    out_name=out_name_4m, r_fid=fid4m

fname_4m=out_name_4m

envi_open_data_file, fname_4m, /envi,$
r_fid=fid4m
  if (fid4m eq -1) then return

envi_file_query, fid4m, ns=ns4m, nl=nl4m, nb=nb4m


mat4m = ENVI_GET_DATA(FID = fid4m, $
DIMS = [-1l, 0, ns4m-1, 0, nl4m-1], pos=[0])

;iiiiiiiiii
;;;mat_est1=[(mat4m[79,28]), (mat4m[80,28]), (mat4m[78,28]), $
;;;(mat4m[78,29]),(mat4m[79,29]),(mat4m[80,29]), $
;;;(mat4m[79,30]),(mat4m[80,30]),(mat4m[78,30])]

;;;print, mat_est1

;;;mat_est2=string(mat_est1)

;print, 'é aqui'
;;;print, mat_est2
;diz o lugar onde ira gravar o arquivo est1
;;;n_lugar='c:/copia_de_tudo/radar2004/04dez/prec/jaboticabal/'+n_arquivo
;;;out_name_est =$
;;;STRMID(n_lugar, 0,STRPOS(n_lugar,".",/reverse_search))+"_jab.txt"
;;;openw, unit, out_name_est, /get_lun
;;;writeu, unit, 'jaboticabal  '
;;;writeu, unit, n_arquivo
;;;writeu, unit, mat_est2
;;;printf, unit, ' '
;;;free_lun, unit

;oooo
mat_est1=[(mat4m[101,69]), (mat4m[102,69]), (mat4m[100,69]), $
(mat4m[100,70]),(mat4m[101,70]),(mat4m[102,70]), $
(mat4m[101,71]),(mat4m[102,71]),(mat4m[100,71])]
```

```
print, mat_est1

mat_est2=string(mat_est1)

;diz o lugar onde ira gravar o arquivo est1
n_lugar='C:/copia_de_tudo/radar2004/09dez/mod/esalq/'+n_arquivo
out_name_est =$
STRMID(n_lugar, 0,STRPOS(n_lugar,".",/reverse_search))+"_esalq.txt"
openw, unit, out_name_est, /get_lun
writeu, unit, 'esalq  '
writeu, unit, n_arquivo
writeu, unit, mat_est2
printf, unit, ' '
free_lun, unit

;fazendo Pradópolis
;;;mat_est1=[(mat4m[85,31]), (mat4m[86,31]), (mat4m[84,31]), $
;;;(mat4m[84,32]),(mat4m[85,32]),(mat4m[86,32]), $
;;;(mat4m[85,33]),(mat4m[86,33]),(mat4m[84,33])]

;;;mat_est2=string(mat_est1)

;diz o lugar onde ira gravar o arquivo est3
;;;n_lugar='C:/copia_de_tudo/radar2004/05jan/prec/pradopolis/'+n_arquivo

;;;out_name_est =$
;;;STRMID(n_lugar, 0,STRPOS(n_lugar,".",/reverse_search))+"_prado.txt"
;;;openw, unit, out_name_est, /get_lun
;;;writeu, unit, 'prado  '
;;;writeu, unit, n_arquivo
;;;writeu, unit, mat_est2
;;;printf, unit, ' '
;;;free_lun, unit

;fazendo Piracicaba
;;;mat_est1=[(mat4m[98,69]), (mat4m[99,69]), (mat4m[97,69]), $
;;;(mat4m[97,70]),(mat4m[98,70]),(mat4m[99,70]), $
;;;(mat4m[98,71]),(mat4m[99,71]),(mat4m[97,71])]

;;;mat_est2=string(mat_est1)

;diz o lugar onde ira gravar o arquivo est3
;;;n_lugar='C:/copia_de_tudo/radar2004/04dez/prec/piracicaba/'+n_arquivo

;;;out_name_est =$
;;;STRMID(n_lugar, 0,STRPOS(n_lugar,".",/reverse_search))+"_pira.txt"
;;;openw, unit, out_name_est, /get_lun
;;;writeu, unit, 'pira'
;;;writeu, unit, n_arquivo
;;;writeu, unit, mat_est2
;;;printf, unit, ' '
;;;free_lun, unit

endif

endif;nome com _erro
```

```
If nome1 EQ nome2 then  begin $
    qte_erro=qte_erro+1
endif

endfor
print, 'Quantidade de arquivos: ', var
print, 'Arquivos com erros: ', qte_erro
print, 'Fim do programa'
end
```